

Blühphaseneintritt an Straßenbäumen
(insbesondere *Tilia x euchlora* KOCH)
und Temperaturverteilung in Westberlin

INAUGURAL-DISSERTATION
zur Erlangung
der Würde eines Doctor rer. nat.
vorgelegt dem Fachbereich Biologie (23)
der Freien Universität Berlin

von
Frank Zacharias
aus Oranienburg

1972.

Blühphaseneintritt an Straßenbäumen
(insbesondere *Tilia x euchlora* KOCH)
und Temperaturverteilung in Westberlin

I N A U G U R A L - D I S S E R T A T I O N

zur Erlangung

der Würde eines Doctor rer.nat.,

vorgelegt dem Fachbereich BIOLOGIE (23)

der FREIEN UNIVERSITÄT BERLIN

von

FRANK ZACHARIAS

aus Oranienburg



Eingereicht am 16. Mai 1972

Berichter: 1. Professor Dr. Herbert Sukopp
 2. Professor Dr. Ursula Geißler
 3. Professor Dr. Gert Hoffmann

Tag der Promotion: 20. Juli 1972

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. Einleitung	11
2. Literaturübersicht	13
3. Das klimatologische Begriffsinventar in Bezug auf seine standörtliche Anwendung	18
3.1 Diskussion des Klimabegriffs, insbesondere im Hinblick auf die hier zugrundegelegte Fassung	18
3.2 Die Raumdimension bei klimatologischen Untersuchungen	23
3.3 Terminologische Probleme bei der Kennzeichnung kleinräumiger Klimate	27
3.4 Ansätze zur genetischen Differenzierung bei der klimatologischen Untersuchung kleiner Räume	38
3.5 Versuch einer Gliederung des örtlichen Klimas nach genetischen Gesichtspunkten	40
3.6 Zur Stellung des Stadtklimas innerhalb der Klimatologie	50
4. Charakterisierung des Untersuchungsgebietes	52
4.1 Größe, topographische Lage und naturräumliche Zuordnung Westberlins	52
4.2 Die Lage Berlins im ozeanisch-kontinentalen Übergangsklima der Mark Brandenburg	55
5. Gewinnung und Kartierung phänologischer Daten	66
5.1 Theoretische Vorbemerkungen	66
5.1.1 Bemerkungen zur Bedeutung phänologischer Methoden für die Darstellung des Standortsklimas	66
5.1.2 Bemerkungen zur Terminologie	67
5.1.3 Bemerkungen zur Aufnahmemethodik	69
5.1.4 Auswahl der zu beobachtenden Pflanzenart und geeigneter Phasen	75
5.1.5 Die "zufällige" (individuelle) Streuung phänologischer Daten von Bäumen einer Art	84
5.1.6 Vermeidung und Abschätzung systematischer Fehler bei stadtphänologischen Aufnahmen	87
5.2 Durchführung der phänologischen Aufnahme (Aufblühphase von Tilia x euchlora)	95
5.2.1 Aufstellung des Routenplanes	95
5.2.2 Provisorische Skalierung des zu beobachtenden Entwicklungsabschnittes	98
5.3 Aufbereitung des phänologischen Rohmaterials	105
5.3.1 Transformation der provisorischen in eine quasi-homochrone Skala	105

	Seite
5.3.2	Exkurs: Betrachtung zum hypothetischen Aufblühverlauf bei <i>Tilia x euchlora</i> KOCH
	114
5.3.3	Erläuterungen zum Bezugsstandort
	117
5.3.4	Erläuterung des Arbeitsdiagramms für die Reduktion der phänologischen Beobachtungs- daten
	120
5.3.5	Darstellung der Ergebnisse in Kartenform
	125
5.3.5.1	Die Genauigkeit der Isochroneneintragung bei gegebener Datenstreuung
	125
5.3.5.2	Die Aussagekraft phänologischer Gradienten unter den Aspekten von standörtlicher Lage und Witterung zur Blütezeit
	134
5.4	Ergebnisse und Diskussion (Interpretation der phänologischen Karten)
	145
5.4.1	Die Karte " <i>Tilia euchlora</i> , Erste Blüten"
	145
5.4.2	Austauschphänomene im Stadtraum
	151
5.4.3	Vergleich der zeitlichen Verteilung der Kartierungsphasen b und ab im Jahre 1967
	157
5.4.4	Nachtrag: Phänologische Aufnahmen der Blüte von <i>Tilia x euchlora</i> in den Jahren 1965 und 1966
	162
6.	Erfassung der Temperaturverhältnisse im Untersuchungsgebiet
	164
6.1	Vorbemerkung
	164
6.2	Temperaturmessungen auf reaktionskinetischer Grundlage (Rohrzucker-Inversionsmethode nach PALLMANN et.al. 1940)
	164
6.2.1	Anmerkungen zum Meßverfahren
	164
6.2.2	Abwandlungen des Verfahrens für den stadtklimatischen Einsatz
	166
6.2.3	Dauer und Gliederung des Meßprogrammes
	168
6.2.4	Aufstellungsprobleme und Standorts- korrekturen
	168
6.2.5	Der Unterschied zwischen exponentiellen und wahren Temperaturmitteln und seine Bedeu- tung für das aus den ersteren abgeleitete Verteilungsbild
	171
6.2.6	Darstellung der Meßwerte in Kartenform
	173
6.2.7	Weitere Bearbeitung der Meßwerte
	174
6.3	Temperaturmeßfahrten im Untersuchungsgebiet
	178
6.3.1	Vorbemerkungen
	178
6.3.2	Kooperative Meßfahrt vom 15. zum 16. Juni 1966 (widerstandselektrische Temperatur- aufnahme
	180

	Seite
6.3.3	Ergänzende Meßfahrten kleineren Umfangs (aspirationspsychrometrische Temperatur- aufnahme)
	185
6.3.4	Diskussion der Temperaturkarte nach nächt- lichen Meßfahrten
	187
6.3.5	Vergleich der sommerlichen Temperaturver- teilung in Strahlungsnächten mit den ent- sprechenden winterlichen Verhältnissen
	190
6.4	Auswertung von Temperaturdaten der West- berliner Klimastationen
	194
6.4.1	Stationsnetz und Datenmaterial
	194
6.4.2	Zusammenstellung fünfjähriger Temperatur- daten der Westberliner Klimastationen (1963-1967)
	197
6.4.2.1	Mittlere Lufttemperaturem (Klimamittel)
	197
6.4.2.2	Mittlere tägliche Extremwerte und mittlere Tagesschwankung der Temperatur
	222
6.4.2.3	Zahl der Tage mit Über- bzw. Unterschrei- tung bestimmter Temperatur-Schwellenwerte
	233
7.	Kombination klimatologischer und phänolo- gischer Informationen zur Gewinnung eines detaillierten Einblicks in die Temperatur- verhältnisse Westberlins
	237
7.1	Vorbemerkung
	237
7.2	Ableitung der Temperaturverhältnisse aus phänochronischen Verteilung
	239
7.2.1	Korrelation zwischen Blühdaten und Temperaturdaten
	239
7.2.2	Transformation der Blühdaten in Tempera- turdaten
	243
7.2.3	Fehlerstreuung beim Schluß von den Blüh- daten auf die Temperaturverhältnisse
	246
7.2.4	Kritik der phänochronisch-thermischen Beziehung
	250
7.3	Ableitung detaillierter Aussagen zur Tem- peraturverteilung in Westberlin aus der phänochronisch-thermischen Beziehung
	254
7.3.1	Anwendung der phänochronisch-thermischen Beziehung auf charakteristische Stadt- geländetypen Westberlins
	254
7.3.2	Anwendung der phänochronisch-thermischen Beziehung auf topographische Einheiten innerhalb Westberlins
	267
8.	Spezielle stadtklimatologische Erörterungen
	271
8.1	Charakterisierung des stadttypischen Temperaturklimas
	271

	Seite
8.2 Ursachen des stadttypischen Temperatur- klimas	275
8.3 Betrachtung zum Temperaturklima im Städtebau	287
9. Zusammenfassung	297
Anhang: Literaturverzeichnis	300

KARTEN:

1. *Tilia x euchlora* KOCH, Phase "Erste Blüten" 1967;
relative Isochronen
2. *Tilia x euchlora* KOCH, Phase "Vollblüte" 1967;
relative Isochronen
3. *Tilia x euchlora* KOCH, Stand der Blühentwicklung
am 30. Juni 1966
4. Exponentielle Mitteltemperaturen ($eT^{\circ}C$), Mittel
dreier Vegetationsperioden (15 Meßperioden) 1963-
1965
5. Lufttemperatur ($^{\circ}C$) am 16.6.1966, 1.00 Uhr; cha-
rakteristische Verteilung in sommerlichen Strah-
lungsnächten
6. Relative Lufttemperatur (grd) bezogen auf die Kli-
mastation Spandau, Jagen 64; mittlere Verteilung
von 14 winterlichen Strahlungsnächten (SCHULZE
1969)

VERZEICHNIS DER TABELLEN

Nr.		Seite
1	Verfrühung des Gehölzaustriebs und des Beginns der Vollblüte in Berlin gegenüber Kleinmachnow	17
2	Räumliche Differenzierung des Klimas nach geographischen Gesichtspunkten	25
3	Begriffliche Differenzierungen in der dreifachen Stufengliederung klimatologischer Betrachtungsweise	28
4	Kennzeichnung der klimatologischen Raumdimension	32
5	Zusammenstellung der allgemeinen Faktoren des örtlichen Klimas	42
6	Daten zur Einordnung des Berliner Klimas nach dem Kriterium der thermischen Kontinentalität	57
7	Mittlere Dauer der jährlichen Wärmeperiode auf Grund zweier Temperaturschwellenwerte	59
8	Thermische Parameter der für Berlin relevanten Klimaprovinzen	60
9	Strahlungsklimatische Daten für Horizontalflächen im Havel-Spree-Raum	64
10	Bewölkung und Sonnenscheindauer über dem Havel-Spree-Raum	65
11	Andauer der Blühabschnitte in Tagen für einige Lindenarten im Jahre 1956	84
12	Streubreite der im Frühjahr und Frühsommer 1951 im Stadtgebiet München gewonnenen phänologischen Daten	85
13	Mögliche Besonnungsdauer der Baumkronen in Stadtstraßen bei 52° n.Br.	90
14	Provisorische Skala für die Beobachtung des Aufblühens sowie der beiderseits anschließenden Phasen von Tilia x euchlora im Jahre 1967	100
15	Überarbeitete provisorische Skalen für die Beobachtung des Aufblühens sowie der beiderseits anschließenden Phasen von Tilia x euchlora	103
16	Näherungswerte für den Zusammenhang zwischen dem Aufblühverlauf bei Tilia x euchlora und dem Gang einiger meteorologischer Elemente	113
17	Häufigkeit der Windrichtungen in % und die dazugehörige mittlere Windstärke in Beaufort von Berlin-Dahlem des Zeitraumes 1950 bis 1970	119
18	Abschnittsweise Berechnung der "wahren Streuung" der phänochronischen Daten zwischen benachbarten Isarithmen	132
19	Temperaturmittel (Vortagswerte) zwischen jeweils benachbarten Phänochronen	143

Nr.		Seite
20	Relative Aufblühgeschwindigkeit (Phase b bis ab) in charakteristischen Stadtbereichen	160
21	Korrelation der Temperaturdifferenzen (eT) im Stadtgebiet mit den Periodenmittelwerten einiger meteorologischer Größen	175
22	Meteorologische Daten zu ausgewählten Strahlungsnächten	183
23	Mittlere Lufttemperaturen (Klimamittel) an Westberliner Klimastationen	198
24	Reihenfolge thermisch sicher unterscheidbarer Westberliner Klimastationen	204
25	Mittlere tägliche Temperaturmaxima an Westberliner Klimastationen	225
26	Mittlere tägliche Temperaturminima an Westberliner Klimastationen	226
27	Mittlere aperiodische Tagesschwankung der Temperatur an Westberliner Klimastationen	227
28	Jährliche Zahl der Tage mit Über- bzw. Unterschreitung bestimmter Temperaturschwellenwerte	234
29	Korrelationskoeffizienten für die Transformation phänologischer Daten (Blühphase von <i>Tilia euchlora</i> 1967) in Temperaturdaten	240
30	Zusammenstellung thermischer Parameter der Westberliner Klimastationen für den Zeitraum März bis Juni (incl.) 1967	241
31	Zur Interpretation phänologischer Daten (<i>Tilia euchlora</i> "Erste Blüten" 1967) als Temperaturdaten (I)	245
32	Zur Interpretation phänologischer Daten (<i>Tilia euchlora</i> "Erste Blüten" 1967) als Temperaturdaten (II)	247
33	Stadtgeländetypen für die thermische Differenzierung Westberlins	255
34	Richtwerte der Temperatur (Jahreswerte) für 11 Stadtgeländetypen Westberlins sowie Vergleichsdaten	256
35	Richtwerte der Temperatur (Mittel der Jahre 1963-1967) für einige Gebietsteile Westberlins	268/ 269
36	Vergleichende Zusammenstellung von Temperaturdifferenzen Innenstadt-Peripherie sowie von Windgeschwindigkeit und Bewölkung in Berlin	275

VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN

Abb.		Seite
1	Wirkungsmodell der allgemeinen Klimafaktoren	47
2	Naturräumliche Einheiten, Westberlin und Umgebung	54
3	Temperatur: Relative Jahresgangzahlen (1901-1950)	63
4	Tilia euchlora, Kronenform	79
5	Tilia euchlora, typische Straßenbepflanzung	79
6	Tilia euchlora, Krone durchfalschen Schnitt verdorben	81
7	Tilia euchlora, typisches Hängen der Seiten- äste 2. Ordnung bei unverschnittener Krone	81
8	Tilia euchlora, Veredlungswulst	82
9	Tilia euchlora, Infloreszenzen (Knospenzu- stand)	82
10	Tilia euchlora, blühend. Testpflanze der 1969er Sonderuntersuchung	108
11	Versuchsgelände des Instituts für Acker- und Pflanzenbau mit Klimahütte. Pfeil: Testpflanze (T. euchlora) der 1969er Sonderuntersuchung	108
12	Aufblühperiode 1969 von Tilia euchlora - rela- tive Summenkurven	109
13	Hypothetische Aufblühsummen von T. euchlora nach der Beobachtungsreihe 1969, transformiert für konstante Tagesmittel der Lufttemperatur	112
14	Tägliche Aufblühsraten von Tilia euchlora	116
15	Arbeitsdiagramm zur Reduktion der phänologi- schen Daten von Tilia euchlora	121
16	Tilia euchlora KOCH 1967, Aufblühvorgang am Be- zugspunkt und an 21 weiteren ausgewählten Beob- achtungsstellen	124
17	Zuordnung phänologischer Daten von Tilia tomen- tosa und T. cordata (provisor. Skalen) zu denen benachbart stehender T. euchlora (Aufnahme 1967)	126
18	Verteilung der zur Blühphasenkartierung 1967 beobachteten Testbäume	127
19	Darstellung von Datenstreuungen im Gradienten- feld eines Karteninhaltes	130
20	Temperaturgleich gestufte Standortserie: theoretische Blütenentwicklung bei gleich- bleibender Witterung	136
21	Beziehung zwischen Zeit- und Standortstufen bei der durchschnittlichen phänologischen Divergenz für T. euchlora 'b' 1967	140

Abb.	Seite
22 Temperaturgleich gestufte Standortserie: theoretische Blühentwicklung bei Aufeinanderfolge unterschiedlicher Witterungen	141
23 Austauschphänomene zwischen benachbarten unterschiedlichen Stadtgeländetypen: relative Blühdaten von Tilia euchlora	153
24 Temperaturmeßfahrten durch Westberlin in sommerlichen Strahlungsnächten	184
25 Jahreszeitliche Mitteltemperaturen an 16 Westberliner Klimastationen	200
26 Abweichung der jahreszeitlichen Mitteltemperaturen vom jeweiligen Durchschnitt aus 16 Westberliner Stationswerten	203
27 Jahresgang der relativen Temperatur, bezogen auf das Mittel aus 16 Westberliner Stationswerten	206
28 Jahresgang der relativen Temperatur an Stationen der Berliner Umgebung, bezogen auf die jeweilige Durchschnittstemperatur der 16 Westberliner Klimastationen	210
29 Klimastationen in der Umgebung Berlins	213
30 Jahreszeitliche Temperaturdifferenzen der Westberliner Klimastationen zur Hypothetischen Freilandstation Berlin (HFB) im fünfjährigen Mittel (Frühling 1963 - Winter 1967/68)	218
31 Jahreszeitlicher Gang der Temperaturdifferenzen Innenstadt/Freiland und I./kalte Senken	223
32 Temperaturdifferenzen Sommer-Winter der Westberliner Klimastationen einschließlich HFB	230
33 Temperaturdifferenzen Herbst-Frühling der Westberliner Klimastationen einschließlich HFB	230
34 Jahreszeitliche Richtwerte der relativen Temperatur für 11 Stadtgeländetypen Westberlins	259
35 Phänochronisch-thermische Profile durch Westberlin (Übersicht)	263
36 Thermische und phänochronische Profile durch Westberlin	264/ 265
37 Mittlerer Tagesgang der Lufttemperatur an 10 heiteren Tagen	273
38 Wirkung der Oberflächenform auf die Absorption der Sonnenstrahlung	280
39 Straßenabschnitte mit unterschiedlichem Verhältnis Höhe/Abstand der Randbebauung	292

1. Einleitung

Während die Weltbevölkerung in der 1. Hälfte unseres Jahrhunderts um 50% zugenommen hat, wird für die Großstadtbevölkerung eine Zunahme von 250% angegeben (HAUSER 1960). Etwa der sechste Teil der Weltbevölkerung lebt gegenwärtig in Großstädten, d.h. in Siedlungen mit mehr als 100 000 Einwohnern (WITTHAUER 1963 zit. nach FISCHER WELTALMANACH 1965). Der Anteil der städtischen Bevölkerung an der Gesamtbevölkerung betrug um 1950 für die Bundesrepublik bereits über 70% (ebenda). Der größte Teil der im Jahre 2000 voraussichtlich auf der Erde lebenden über 6 Milliarden Menschen dürfte in Großstädten und Stadt-agglomerationen wohnen. Daher wird dem Studium der städtischen Umwelt in all ihren Aspekten und in ihrer Auswirkung auf Mensch, Tier und Pflanze eine zunehmende Bedeutung erwachsen.

Auf Grund einer Anregung seitens meines verstorbenen Lehrers, Professor U.BERGER-LANDEFELDT und eine zeitlang noch unter seiner erfahrenen Betreuung, wurde die hier vorgelegte Arbeit zur Untersuchung der thermischen Verhältnisse Westberlins durchgeführt. Dabei sollten die Beziehungen zwischen der Temperaturverteilung im Stadtgebiet und der pflanzlichen Reaktion auf den Standortfaktor Temperatur erforscht werden. Man weiß zwar seit langem, daß im wärmebegünstigten Stadttinneren bestimmte jahresperiodische Erscheinungen (Phasen) der Pflanzenentwicklung früher zu beobachten sind als in der Umgebung der Stadt (ALTHEIMER und HILTNER 1915; GÜNTHER 1959). Auch sind quantitative Angaben nicht selten: in der Obstbau-Phänologie, sowie, besonders in neuerer Zeit, in der Forst-Phänologie, wurde ein reichhaltiges Material zusammengetragen. Es ermöglichte die Formulierung und Weiterentwicklung der sog. "Temperatursummen-Regel" (s. z.B. SCHRÖDTER 1954). Indessen ist all diesen Arbeiten nicht zu entnehmen, wie sich der Zusammenhang zwischen Temperatur und Pflanzenentwicklung flächenhaft darstellt. Zwar kann man vorliegende kleinmaßstäbige phänologische und klimatologische Karten vergleichend betrachten, und es

gelingt so ziemlich leicht, sich die Größenordnung der Temperaturwirkung zu vergegenwärtigen. Für einen derartigen Vergleich etwa im Maßstab eines Stadtplanes fehlen jedoch leider die Grundlagen - entweder die phänologischen oder die klimatologischen, meist beide. Ohnedies ist das phänologische Material über Städte alles andere als reichhaltig. Phänologische Karten liegen in Mitteleuropa nur für die Städte Hamburg und Kiel veröffentlicht vor.

Westberlin bietet insofern günstige Möglichkeiten, zunächst für die Beschaffung des klimatologischen Materials, als hier bereits seit einigen Jahren auf einer Fläche von insgesamt 481 qkm ein Netz von zeitweilig 17 Klimastationen betrieben wird. Für standortsklimatische Fragestellungen ist dieses jedoch bei weitem nicht dicht genug. Es war daher beabsichtigt, ein Netz von ca. 100 einfachen Temperaturmeßstellen anzuschließen. Als Methode empfahl sich die Rohrzuckerinversionsmethode nach PALLMANN, EICHENBERGER und HASLER (1940), da sie im Einsatz billig ist und ein Minimum an Wartung erfordert. Die Methode mußte für den gleichzeitigen Ansatz großer Mengen der Meßlösung modifiziert werden. Knapp 80 Meßstellen waren zuletzt in Betrieb. Dennoch war das Ergebnis unbefriedigend. Vor allem war eine einheitliche bzw. vergleichbare Aufstellung der Meßkörper nur unvollkommen zu erreichen. Auch mußte auf eine repräsentative Erfassung des gesamten Stadtgebietes verzichtet werden. Aus diesem Grunde kann der diesbezügliche Teil der Untersuchungen keinesfalls allein die klimatologische Grundlage abgeben.

Auf eine Verdichtung des Klimanetzes wurde nunmehr verzichtet und zunächst mit der Schaffung der Voraussetzungen für eine phänologische Kartierung begonnen.

Einen guten Erfolg zeitigte die Suche nach einer geeigneten Testpflanze für die phänologische Kartierung. Mehr als 1000 quasi-repräsentativ über das Stadtgebiet verteilte Beobachtungspunkte wurden in gleitender Abfolge kontrolliert, die Beobachtungsergebnisse rechnerisch homogenisiert und dadurch vergleichbar gemacht.

Die Beziehung der phänologischen Daten zu den Temperaturwerten der Berliner Klimastationen erwies sich als recht eng. Daher ließen sich die phänologischen Daten selbst zu einer recht genauen Erfassung der relativen Temperaturverteilung im Stadtgebiet verwenden. So war es möglich, aus den Aufblühdaten einer einzigen Pflanzenart Richtwerte der Temperatur für nach charakteristischen Oberflächeneigenschaften geordnete Stadtgebiete abzuleiten und zwar nach Jahreszeiten differenziert.

Es soll hier nicht verschwiegen werden, daß eine Hoffnung, welche die Konzeption der vorliegenden Arbeit mitbestimmt hatte, nicht in Erfüllung ging: die Verteilung einer Anzahl wärmeliebender Pflanzen im Stadtgebiet erwies sich als nicht sonderlich eng mit der städtischen Wärmeinsel korreliert. Dabei spielen mikroklimatische Gegebenheiten, insbesondere bei der Samenkeimung dieser meist einjährigen Pflanzen, zweifellos eine Rolle. In der Stadt selbst wirken sie jedoch nur kleinräumig differenzierend. In großflächigerer Betrachtung, entsprechend etwa der hier untersuchten mesoklimatischen Dimension, haben andere Gegebenheiten den Vorrang, so z.B. die zeitliche und räumliche Verteilung frischer Aufschüttungen und anderer besiedelbarer Flächen.

Dem Hauptteil der Arbeit vorangestellt wurde eine kritische Übersicht über das klimatologische Begriffsinventar und Vorschläge zu einer Begriffsordnung nach klimagene-tischen Kriterien.

2. Literaturübersicht

Der thermische Effekt ist wohl, nächst der Lufttrübung, unter den auffälligen Klimabesonderheiten des Stadtraumes der am längsten bekannte. Eine große Zahl damit befaßter Untersuchungen findet sich bei KRATZER (1956) kommentierend zusammengestellt. Im gleichen Jahr erschien eine Zusammenstellung vorwiegend der amerikanischen Literatur zu Stadtklimafragen (LANDSBERG 1956). Einige neuere Arbeiten sind ferner in der 4. Auflage des GEIGER'schen Lehr-

buchs dokumentiert. CHANDLER befaßte sich in einer Reihe von Untersuchungen (1962, 1962a, 1965) mit der "Wärmeinsel" Londons, sowie dem Einfluß des Windes (1960) und des Stadtwachstums (1964) auf das städtische Temperaturklima. BERNATZKY (1958, 1960a) behandelte die Auswirkung von Grünanlagen auf Temperatur und Luftfeuchtigkeit benachbarter Stadtflächen. GARNETT und BACH (1965) nehmen erneut die Frage nach dem Verhältnis der künstlichen Wärmeezeugung zum natürlichen Strahlungswärmegenuß der Stadt auf. BACH und PATTERSON (1969) untersuchen die verschiedenen Anteile am Wärmehaushalt vergleichend in der Stadt und im umgebenden Freiland. Aus dem Vergleich stadtbeeinflusster und -unbeeinflusster Klimastationen ermittelte DRONIA (1967) Korrekturen für die Ableitung regionaler und weltweiter Temperaturtrends.

An neueren klimatologischen Untersuchungen einzelner Städte sind die umfangreichen Wiener Arbeiten zu nennen, darunter die über das Straßenklima (DIRMHIRN und SAUBERER 1959) und über das Klima der Höfe (MAHRINGER 1963). Die Temperaturverteilung in Wien und Umgebung behandelt ECKEL (1957). Eine große Zahl alter und neuerer Wiener Untersuchungsergebnisse findet sich bei UNDT, ZAWADIL und ROLLER (1970) zusammengefaßt. Auch für die Stadt Linz liegt eine größere Gemeinschaftsarbeit vor (LAUSCHER, ROLLER u.a. 1959). Zu stadtklimatischen Fragen nehmen CONFAL (1960) und QUITT (1966) an Hand der Verhältnisse von Brno Stellung. In Flensburg unternahm HOLM (1949) klimatologische Untersuchungen. Ein umfangreiches, statistisch durchgearbeitetes Datenmaterial legte EMONDS (1954) für das Klima der Stadt Bonn vor. Das Klima von Kiel hat die Arbeit von ERIKSEN (1964) zum Gegenstand. Dabei werden die lokalen Temperaturdifferenzen witterungsklimatologisch bearbeitet. Die Verteilung der nächtlichen Temperaturminima wurde von VILKNER (1961) in Greifswald untersucht.

Von neueren Berliner Daten sind insbesondere die monatlichen Temperatur- und Niederschlagswerte der Westberliner Stationen zu nennen, welche von HACKENTHAL regelmäßig in den Beilagen zur Berliner Wetterkarte veröffentlicht wer-

den. Eine erste Auswertung, bei der jedoch die thermischen Parameter gegenüber den Niederschlägen zurücktreten, findet sich bei SCHLAAK (1963). SCHULZE (1968) führte umfangreiche Meßfahrten mit Widerstandsthermometern während winterlicher Strahlungsnächte durch. Die in Zusammenarbeit mit Kollegen des Instituts für Meteorologie und Geophysik der Freien Universität im Jahr zuvor ermittelte Temperaturverteilung in Strahlungsnächten des Sommers ist in der hier vorgelegten Arbeit enthalten (Abschnitt 6.3). Durch Einrichtung temporärer Meßstellen konnte RICHTER (1969) das innerstädtische Altbaugbiet in die Untersuchung der Stadt-Land-Differenzen an heiteren Tagen einbeziehen. HOFFMANN et.al. (1965) versuchten die Temperaturverteilung in der Höhe über Berlin widerstandselektrisch aufzunehmen, wobei sie sich eines Hubschraubers bedienten.

Für Berlin sind Temperaturbeobachtungen seit dem frühen 18. Jahrhundert belegt. Reichhaltige Literatur sowie ein Verzeichnis aller Klimastationen, die zwischen 1700 und der Drucklegung in Betrieb gewesen sind, publizierte BAHR (1966). Erst im späten 19. Jahrhundert erlangte die Frage nach dem Stadteinfluß auf die Meßergebnisse einige Bedeutung (KREMSER 1886, PERLEWITZ 1890, HELLMANN 1894). Auf Stationen mit auch nach heutigen Maßstäben einwandfreier Instrumentenaufstellung (Englische Hütte) konnte dabei nicht vor Beginn unseres Jahrhunderts zurückgegriffen werden (SCHWALBE 1913 und 1916). Eine nach Witterungstypen getrennte Untersuchung der Temperaturdifferenzen zwischen Berlin und seiner Umgebung lieferte TREIBICH (1927). Be-^urichtenswert erscheint sein Vorschlag für den gegebenen Standort einer Innenstadtstation, nämlich: "ein kleiner, mit Bäumen bestandener Platz, in den von allen Seiten Straßen einmünden...". Eine entsprechend aufgestellte ständige Station und damit ein für das geschlossene innerstädtische Altbaugbiet repräsentatives Datenmaterial fehlt bislang noch immer!

Nachfolgend aufgeführte Arbeiten behandeln das Klima Berlins mehr in landschaftlich-regionaler Betrachtung, geben aber z.T. Hinweise auf im engeren Sinne stadtklimatische Verhältnisse. Seit den umfangreichen Datenzusammenstellun-

gen von HELLMANN (1894) und BEHRE (1908) hat es auf lange Zeit keine vergleichbaren Veröffentlichungen mehr gegeben. Der Arbeit HEYERS (1959) lassen sich Angaben zur regional-klimatischen Einordnung Berlins entnehmen. Ähnliches gilt für eine Untersuchung von HENDL (1969). Mit der im selben Band enthaltenen Arbeit von KOHL liegt nun auch wieder eine ausführliche Würdigung der Berliner Meßergebnisse vor.

Stadtphänologische Arbeiten finden sich nur sehr spärlich publiziert. Den in der Einleitung genannten Veröffentlichungen von ALTHEIMER/HILTNER und, auf Berlin bezugnehmend, von GÜNTHER (1959) (Tab 1) können nur wenige Angaben hinzugefügt werden. FRANKEN (1955) kartierte den Beginn der Forsythienblüte in Hamburg. ERIKSEN (1964), der in Kiel und Umgebung das phänologische Verhalten einiger Gehölze untersuchte, konnte das Voreilen in der Entwicklung der innerstädtischen Exemplare gut mit den dort nachgewiesenen höheren Temperatursummen parallelisieren. Auch publizierte er zwei synoptische Karten von je einer Wachstums- und einer Laubverfärbungsphase der Roßkastanie. Für die Stadt Wien veröffentlichte ROSENKRANZ (1951) eine knappe Übersicht der dortigen Verhältnisse. Aus den z.T. vieljährigen Aufzeichnungen von 27 Stationen vermochte ROLLER (in UNDT, ZAWADIL und ROLLER 1970) keine signifikante Verfrühung der zentralen Stadtgebiete abzuleiten, weshalb sie alle Beobachtungsergebnisse zu Angaben einer mittleren fiktiven Station "Wien" zusammenfaßt. Andererseits konnte sie, wenigstens im Vorfrühling, für den zentral gelegenen Stadtpark eine Verfrühung des Phasenbeginns um eine Woche gegenüber dem Stadtrand feststellen.

Tabelle 1

Verfrühung des Gehölzaustriebs (BO = erste Blattoberflächen sichtbar) und des Beginns der Vollblüte (ab) in Berlin gegenüber Kleinmachnow⁺) (Mittel der Jahre 1955 bis 1958) in Tagen

	BO	ab
<i>Tilia tomentosa</i>	2	8
<i>Tilia platyphyllos</i>	1	4
<i>Robinia pseudacacia</i>	6	4
<i>Forsythia x intermedia</i>	4	6
<i>Ribes sanguineum</i>	0	9
<i>Crataegus oxyacantha paulii</i>	3	7
<i>Ligustrum vulgare</i>	0	0
<i>Pyracantha coccinea</i>	2	3
<i>Spiraea x vanhouttei</i>	0	0
<i>Lonicera tatarica</i>	0	0
<i>Polygonum aubertii</i>	2	4
<i>Spiraea x bumalda</i>	5	2
<i>Philadelphus coronarius</i>	3	0
<i>Corylus avellana rubra</i>	0	6
<i>Fagus silvatica</i>	5	-
<i>Corylus colurna</i>	4	5
<i>Syringa vulgaris</i>	4	8

⁺) Vorortsiedlung im Süden Berlins

3. Das klimatologische Begriffsinventar in Bezug auf seine standörtliche Anwendung

3.1 Diskussion des Klimabegriffs, insbesondere im Hinblick auf die hier zugrundegelegte Fassung

Seit der Begründung der neuzeitlichen meteorologischen Wissenschaft durch A. von Humboldt vor mehr als 100 Jahren hat der Begriff "Klima" recht unterschiedliche inhaltliche Abgrenzungen und Schwerpunktsetzungen erfahren. Diese Entwicklung ist durch SCHNEIDER-CARIUS (1961) in einem nachgelassenen Werk ausführlich und kritisch abgehandelt worden. Daß damit die Diskussion um den Klimabegriff noch keineswegs zum Abschluß gekommen ist, wird an Hand einer Arbeit von FLEMMING (1968a) deutlich.

FLEMMING führt darin die Vielfalt der Definitionen auf drei Grundauffassungen zurück.

Die älteste und zugleich allgemeinste Auffassung versteht das Klima im Sinne von atmosphärischem Zustand und sieht in ihm den Gegenbegriff zu den nichtatmosphärischen Geowissenschaften. Dabei stehen, historisch bedingt, jene meteorologischen Faktoren im Vordergrund, die eine unmittelbare Auswirkung auf Pflanze, Tier oder Mensch zeigen. Unbeschadet der Bevorzugung einer anderen Auffassung des Klimabegriffs wird dies immer ein legitimer Aspekt klimatologischen Forschens bleiben müssen.

In der zweiten, "meteorographischen" Auffassung wird Klimatologie als beschreibende Wissenschaft der Ursachenforschung betreibenden Physikalischen Meteorologie gegenübergestellt.

Schließlich läßt sich drittens das zeitlich konstante Klima als Gegenbegriff zum zeitlich veränderlichen Wetter interpretieren.

Diese letzte, auf Definitionen von HANN und insbesondere KÖPPEN zurückgehende Auffassung hat sich seither weitgehend durchgesetzt. FLEMMING schlägt vor, die erstgenannte Auffassung aus sachlichen Gründen überhaupt nicht, die zweite nur unter ausdrücklichem Hinweis auf das meteorogra-

phische Verständnis des Klimabegriffs zu verwenden. Möglichst sollte jedoch, gemäß der dritten Auffassung, das Klima als "die zeitliche Synthese des Wetters einschließlich des Wetterablaufs" verstanden werden.

Es schien mir angebracht, den Klimabegriff ausschließlich im Sinne dieser Definition zu verwenden, zumal die vom Autor freigestellte zweite Auffassung wegen der in ihr vorgenommenen Separierung von Beschaffung des Grundmaterials und kausaler Behandlung desselben als eigene Wissensgebiete fragwürdig erscheint. Freilich ist auch die Abgrenzung des hier verwendeten Klimabegriffs keineswegs unproblematisch. FLEMMING zufolge "sollte man den Klimabegriff nur dann anwenden, wenn eine Extrapolation auf klimatologische Zeiträume bzw. Gesamtheiten zumindest versucht wird". Was hierbei als "klimatologischer Zeitraum" gelten kann, d.h. über welche Zeitspanne hinweg die Meßergebnisse regelhafte Gegebenheiten repräsentieren, bedarf der Erörterung in jedem einzelnen Falle. Darüberhinaus lassen sich aber einige allgemeine Aussagen machen.

So wird die zeitliche Gültigkeit eines von anderen unterschiedenen Klimatyps um so kürzer sein, je feiner man die differenzierenden Merkmale abstuft, da sich hierbei Klimaänderungen entsprechend schneller auf die letzte Stelle der betr. Durchschnittswerte auswirken. Auch die Art der Klimaänderung, ob kurzzeitig schwankend oder über längere Zeit gleichgerichtet, muß berücksichtigt werden. Unter diesem Aspekt ist auch die zur Festlegung von Normalwerten erforderliche Anzahl von Beobachtungsjahren zu sehen. Auch hier wird nicht nur gefragt, mit wie wenig Beobachtungsjahren auszukommen ist, sondern ebenso wie viele Jahre dem Normalwert höchstens zugrundegelegt werden sollten. Die heute international vereinbarte Normalreihe für Temperaturen umfaßt drei Jahrzehnte und wurde zuletzt auf die Periode 1931 bis 1960 festgelegt (BLÜTHGEN 1964).

Auch unter dem Aspekt der Raumdimension muß die zeitliche Konstanz des Klimas unterschiedlich beurteilt werden.

Je feiner man einen Raum klimatologisch differenziert, um so mehr gewinnen rasch veränderliche Gegebenheiten, etwa der Bebauung, des Bewuchses, des Mikroreliefs oder landeskultureller Maßnahmen Einfluß auf die Meßergebnisse (vergl. REMPP 1937). Man wird dann versuchen müssen, die in einem Gebiet vorfindbare Vielfalt an klimatischen Differenzen auf eine begrenzte Zahl von Typen zurückzuführen (MÄDE 1956, SCHÖNE 1958, BÖER 1964). Die für den klimatologischen Charakter einer Untersuchung geforderte zeitliche Konstanz gilt in diesem Falle zwar nicht für einen definierten Raumpunkt, wohl aber für den im zeitlichen Ablauf an wechselnden Stellen anzutreffenden Typus. Naturgemäß verlagert sich bei einem solchen Vorgehen der Schwerpunkt der Fragestellung in Richtung auf physikalisch-meteorologische Zusammenhänge. Dabei lassen auch relativ kurzzeitige Messungen u.U. eine klimatologische Behandlung zu.

Umstritten ist noch, in wie weit aperiodische Erscheinungen kürzerer Andauer, insbesondere die sogenannten Wetterlagen, der Klimatologie zugeordnet werden sollten. Als isolierte raum-zeitliche Erscheinungen müssen sie zweifellos als Gegenstand der Wetterkunde gelten, für die FLEMMING den international verwendbaren Terminus "Kärologie" vorgeschlagen hat (nach dem griechischen Wort für Zeit, Zeitpunkt, Zeitumstände). Zum Gegenstand der (Witterungs-) Klimatologie wird die Wetterlage jedoch erst als eine statistisch definierte Erscheinung: Ihre Grenzen folgen nicht aus den zu ihrer Beschreibung verwendeten Meßgrößen selbst, sondern aus der mehr oder weniger häufigen Wiederkehr charakteristischer Datenverknüpfungen der meteorologischen Elemente. Es soll hier nicht verschwiegen werden, daß FLEMMING (1968a) die typischen Wetterlagen eher der Wetterkunde zugeordnet wissen möchte.

An anderer Stelle (1968b) diskutiert FLEMMING Aspekte der Anwendung des Klimabegriffs auf den forstlichen Standort, wobei er den Standortbegriff in dessen ökologischen Verständnis verwendet (WALTER 1949). Die diesbezüglichen Gedankengänge lassen sich zumeist zwanglos auf den Pflanzen-

standort allgemein erweitern. Dieser ist im wesentlichen durch zwei Faktorenkomplexe repräsentiert, welche üblicherweise mit dem Begriffspaar "Klima und Boden" bezeichnet werden. Der Autor verweist nachdrücklich auf die Ungleichartigkeit der beiden Begriffe, deren erster speziell, deren zweiter dagegen sehr allgemein gefaßt sei. Formal richtig sei die Gegenüberstellung "Atmosphäre und Boden", entsprechend den beiden Substraten, in die hinein die Pflanze sich erstreckt.

Hier muß geprüft werden, ob die fraglichen Begriffe das decken können, was uns in Bezug auf den Standort interessiert. FLEMMING äußert in dieser Hinsicht Bedenken, was die Brauchbarkeit des Klimabegriffs betrifft. Insbesondere stelle "der biologisch wirksame atmosphärische Komplex eine in zeitlicher Hinsicht unterschiedlich wertende Auswahl aus der Klimagesamtheit dar". Ferner könnten "wetterkundliche und sogar wetterprognostische Gesichtspunkte... im Zusammenhang mit den atmosphärischen Extremsituationen eine gewisse Bedeutung erlangen".

Dem ersten Argument liegt die in der hier verwendeten Definition des Klimabegriffs enthaltene Formulierung "zeitliche Synthese des Wetters" zugrunde, jedoch in einer zu stark verengenden Auslegung. Das bevorzugte Interesse etwa an den Verhältnissen während der Vegetationsperiode schränkt die grundsätzlich klimatologische Natur der betreffenden Untersuchungen nicht ein. Wesentlich ist das Kriterium der (relativen) zeitlichen Konstanz der zu ermittelnden Kenngrößen. Diese Konstanz ist auch dann gegeben, wenn ein definierter Ausschnitt des Jahres oder selbst ein ebensolcher Tagesabschnitt eine mehrere Beobachtungsjahre berücksichtigende statistische Bearbeitung erfährt. "Jahres- und Tagesgänge werden vom Klimabegriff eingeschlossen" (FLEMMING 1968b).

Auch das zweite Argument, das auf der standörtlichen Bedeutung der atmosphärischen Extremsituationen beruht, erweist sich bei näherem Hinsehen als nicht stichhaltig. Freilich fallen die Folgen extremer Situationen mehr ins

Auge als die gleichfalls vorhandenen direkten oder vermittelten Wirkungen beliebiger nicht extremer Wetterereignisse. Die Reaktionen der Pflanzenwelt auf den momentanen atmosphärischen Zustand wie auch auf den individuellen Witterungsablauf sind physiologischer Art. Einen ökologischen, d.h. standörtlich bedeutsamen Rang erlangen die betreffenden Verhältnisse erst unter Einbeziehung der Zeitdimension. Entscheidend für das Ökosystem ist letztlich nicht das einmalige Auftreten eines Windbruch- oder Nebelfrostschadens etc. sondern die Häufigkeit und u.U. typische zeitliche Abfolge solcher Ereignisse.

Wir können somit feststellen, daß die atmosphärische Komponente, soweit sie standörtliche Relevanz besitzt, in vollem Umfange unter den hier verwendeten Klimabegriff fällt.

Zugunsten der Verwendbarkeit des Begriffspaares "Boden und Klima" führt FLEMMING selbst die Tatsache an, "daß die Bodeneigenschaften zeitlich wesentlich konstanter sind als der atmosphärische Zustand und deshalb bei beiden Teilbegriffen die Langfristigkeit der Betrachtungsweise automatisch gegeben sei". Indessen besäßen "manche Bodeneigenschaften, wie z.B. Bodenwasser und Bodentemperatur, eine ausgeprägte zeitliche Veränderlichkeit". Um die begriffliche Gleichrangigkeit herzustellen hält es der Verfasser in diesem Falle für erforderlich, auch anstelle von "Boden" eine Bezeichnung einzuführen, welche "die langfristige Gesamtheit aller an einem Punkt vorkommenden Bodenzustände einschließlich Bodenart, Bodentyp, Bodenwasser, Nährstoffzustand usw." umfaßt.

Daß freilich der Bodenbegriff selbst diese Gesamtheit meint, belegt die betreffende Definition KUBIENAS (1943): "Boden ist die vom Leben durchsetzte, unter dem Einfluß des Lebens und der besonderen Umweltbedingungen eines biologischen Standortes entstandene, einem ständigen jahreszeitlichen Wechsel und einer charakteristischen Entwicklung unterworfenen Umwandlungsschicht der festen Erdrinde". Ausdrücklich sind hier die zeitlichen Zustandsänderungen (rhythmische wie arrhythmische) einbezogen wor-

den. Auf der Grundlage dieser, vom ökologischen Standpunkt her besonders befriedigenden Definition ist die Gleichrangigkeit der Begriffe Klima und Boden offensichtlich gegeben.

Aus der Auffassung des Klimas als Gegenbegriff zum Wetter zieht FLEMMING Folgerungen auch bezüglich des Wetterbegriffes, die hier am Rande erwähnt sein mögen. Er verweist zu Recht darauf, daß das Wetter, in seinem üblichen raumbezogenen Verständnis, mit dem Klimabegriff nicht auf einer Stufe steht, sofern es sich um kleinräumige Unterschiede handelt. Es ist konsequent, etwa dem "Mikroklima" ein "Mikrowetter" gegenüberzustellen. Es sollte dabei jedoch deutlich gemacht werden, daß selbstverständlich auch im Rahmen der dritten Grundauffassung ein räumlich integrierender Klimabegriff möglich und notwendig ist. Hierauf wird im folgenden Abschnitt näher einzugehen sein. Unvereinbar mit dem hier vertretenen Klimabegriff ist nicht der raumbezogene Wetterbegriff als solcher, sondern lediglich dessen Festlegung auf die Dimension des "Großwetters".

Eine weitere Folgerung in Richtung auf ein dem Klimabegriff adäquates Verständnis von Wetter ist nach FLEMMING die Einbeziehung des auf autochthonen Gegebenheiten beruhenden Anteils am atmosphärischen Zustand in den Wetterbegriff. Das erscheint zwar selbstverständlich, wird aber gelegentlich zugunsten einer ausschließlichen Berücksichtigung der advektiv-fremdbürtigen Komponente außer Acht gelassen.

3.2 Die Raumdimension bei klimatologischen Untersuchungen

Das Klima ist infolge seiner (relativen) zeitlichen Konstanz geeignet, als ortsbezogene Kenngröße zu dienen. Darüberhinaus vermag es auch, bei Verwendung repräsentativer Meßverfahren und generalisierender Bearbeitung, Räume mehr oder weniger großer Ausdehnung zu kennzeichnen.

Vielfach wird auch versucht, bereits den Charakter eines Meßprogrammes in räumlicher Hinsicht zu bestimmen. Das ist nicht identisch mit der Begrenzung des Untersuchungsgebietes. Beispielsweise lassen sich, unter geeigneten Voraussetzungen, die Meßdaten eines Stationsnetzes sowohl auf regionale als auch auf großräumige Differenzen hin bearbeiten. Keinesfalls sollte daher die Bezeichnung der klimatologischen Raumdimension von der Größe des Untersuchungsgebietes abgeleitet werden. Zwar besteht ein gewisser Zusammenhang zwischen dieser und den Grad der zu erreichenden räumlichen Differenzierung der klimatologischen Aussagen. Das Bindeglied ist dabei aber genaugenommen nichts anderes als der Kostenfaktor. Grundsätzlich sind natürlich Meßprogramme beliebiger räumlicher Ausdehnung und zugleich beliebig feiner Differenzierung denkbar. Die durch den üblicherweise vertretbaren Aufwand gegebene Verknüpfung kann also nicht als Sachgerecht gelten.

Die Kennzeichnung der Raumdimension klimatologischer Meßprogramme hat im Grunde nur dann einen Sinn, wenn sich damit Aussagen bezüglich adäquater Meßstellendichte und -verteilung, Aufnahmefethoden und Meßkörperaufstellung verbinden lassen. Statt die Größenordnung des Untersuchungsgebietes zum Maßstab zu nehmen, wäre es sicherlich besser, die auf Grund des Meßverfahrens und der Netz-Charakteristika gerade noch darstellbaren Feinheiten in der Verteilung der untersuchten Klimagrößen in ihrer ungefähren räumlichen Ausdehnung zu kennzeichnen. Eine beliebig generalisierende Bearbeitung bleibt dabei unbenommen. Man könnte hier, im Gegensatz zum *i n t e g r a l e n* Raum-begriff der geographischen Bezeichnungsweise, von einem *d i f f e r e n t i a l e n* Raumbegriff sprechen. Der letztere führt natürlich zu bedeutend kleineren Bestimmungsräumen als der erstere. Man gelangt bis herunter zu Größenordnungen, die in geographischer Hinsicht kaum noch interessieren können.

Um dies an einem Beispiel zu erläutern, sei das bekannte, an der geographischen Raumgliederung orientierte System MÖRIKOFERS (1948) angeführt (Tab. 2). Die hier

Tabelle 2 Räumliche Differenzierung des Klimas nach
geographischen Gesichtspunkten (MÖRIKOFER
1948)

Klimabezeichnung:	Größenordnung:		Beispiel:
Zonenklima	5000	km	Gemäßigte Zone
Großraumklima	1000	km	Mitteleuropa
Landschaftsklima	100	km	Rätisches Hochland
Regionalklima	10-20	km	Davoser Landschaft
Lokalklima	100-1000	m	Talboden-Südhang

angegebenen Größenordnungen sind offensichtlich die, welche einer Region, einer Landschaft, einem Großraum etc. selbst zukommen. Das Regionalklima stellt dabei das Klima eines Gebietes der angegebenen Ausdehnung als Abstraktum dar (durch Generalisierung kleinräumigerer Angaben oder durch gesamtäumlich repräsentative Ermittlung der Klimadaten). Unter einem regionalklimatologischen Meßprogramm versteht man aber in der Regel die *i n n e r h a l b* einer Region differenzierende Klimamessung (Stadtklima!). Anstelle einer Größenordnung von 10 bis 20 Kilometern wäre somit eine sehr viel kleinere kennzeichnend (etwa 100 bis 500 Meter).

Gerade beim hier interessierenden Stadtklima führt die Unterlassung der eindeutigen Raumkennzeichnung nicht selten zu widersprüchlichen Aussagen. Das Stadtklima gehört eben nur insoweit zum Regional- bzw. Lokalklima im Sinne MÖRIKOFERS, als versucht wird, einen abstrakten klimatologischen Ausdruck für das der Stadt als ganzer Eigentümliche zu finden. Wo es um die Ermittlung stadträumlicher Differenzen geht, hat die Einordnung in anderer Weise zu geschehen.

Neben dem System geographisch definierter Raumkategorien wird in der Literatur zumeist die hierarchische Dreifachgliederung klimatischer Bereiche verwendet (Mikro-, Meso-

und Makroklima).

Der Wert eines derartigen Ordnungsschemas hängt nicht unbedingt davon ab, ob sich die Raumstufen an Hand von in der Realität vorgegebenen Grenzen definieren lassen. Dessen ungeachtet ist auf dieser Ebene über die Berechtigung des Stufenschemas gestritten worden. So stellen ALISSOW, DROSDOW und RUBINSTEIN (1965) die Realität einer mittleren Raumstufe des Klimas in Abrede und bezeichnen alle "örtlichen Besonderheiten des Klimas, die durch die ungleichmäßige Beschaffenheit des Untergrundes verursacht werden" als Mikroklima. Eine weitere Aufteilung desselben hänge "vollständig vom Maßstab ab, mit dem man die Flächen ungleichmäßiger Beschaffenheit mißt und den man stetig ändern kann". BÖER (1959) hält dem entgegen, daß objektive Grenzen dennoch nachweisbar seien, wenngleich an räumlich und zeitlich wechselnden Stellen. Er sieht solche Grenzen da gegeben, wo "bei einer stetigen Änderung der charakteristischen Maße ... bei Überschreitung bestimmter Größenordnungen jeweils unstetig ein Übergang zu neuen ... Arten von Unterschieden der betrachteten meteorologischen Größen" erfolgt. Mit dieser an sich richtigen Feststellung ist jedoch bezüglich der strittigen Frage wenig auszurichten. Zwar läßt sich, bei Betrachtung eines Einzelobjektes (z.B. Kaltluftsee) der Maßstab genau angeben, bei dem bestimmte meteorologische Details innerhalb desselben, etwa durch Unterschiede der Pflanzendecke oder des Bodens bewirkt, nicht mehr dargestellt werden können. Doch kann dieser Grenzmaßstab schon beim benachbarten Einzelobjekt ein anderer sein. Auch wird es in der Regel nicht nur ein oder zwei, sondern eine ganze Reihe von Maßstäben geben, bei denen bestimmte Details im Gelände verschwinden oder gerade erkennbar werden. Es bleibt der Willkür überlassen, an welcher dieser Unstetigkeitsstellen die Grenze zwischen mikro- und mesoklimatischem Bereich gesehen wird.

Der Fehler in der Argumentation beider Seiten wird deutlich, wenn man sich vergegenwärtigt, daß sich grundsätzlich auch ein Kontinuum sinnvoll gliedern läßt. In wel-

cher Weise man die Stufen festlegt, ist dann nur eine Frage der zweckmäßigen Handhabung. Nach diesem Kriterium ist aber die dreistufige Raumgliederung des Klimas gerechtfertigt, denn sie hat sich vielfach praktisch bewährt. Was nützt ist jedoch eine verbindliche Vereinbarung der betr. Kategorien. Einen darauf abzielenden Vorschlag enthält der folgende Abschnitt (3.3).

Natürlich kann man in einem charakteristisch strukturierten Gelände auch charakteristische Größenordnungen der geeigneten Generalisierungsstufen erwarten und entsprechend objektivierbare Bereiche definieren. In Bezug auf das "Stadtgelände" (ERIKSEN 1964a) wird man eine solche charakteristische Größenordnung etwa in der durchschnittlichen Dimensionierung der Baublocks zu sehen haben. Bei stadtklimatologischen Arbeiten fällt diese Größe in der Regel mit der kleinsten noch sinnvollen differentialen Raumdimension zusammen.

3.3 Terminologische Probleme bei der Kennzeichnung kleinräumiger Klimate

Einigermaßen verwirrend stellt sich die terminologische Situation heute besonders in Bezug auf kleine und kleinste Raumdimensionen dar. Zwei Gründe dürften hierfür maßgebend sein: erstens hat die Literatur auf diesem Gebiet in letzter Zeit sehr rasch an Umfang zugenommen, so daß eine verbindliche Abklärung des noch in Entwicklung befindlichen Begriffsapparates bisher nicht möglich war; zweitens sind aber die Kriterien, nach denen das Klima im Einzelfall gegliedert wurde, nicht immer eindeutig dargestellt und voneinander geschieden worden.

ERIKSEN (1964a) hat versucht, einen Überblick über die in der Literatur wiederholt gebrauchten, das Klima differenzierenden Begriffe zu geben (Tab. 3). Die hier jeweils zu einer Stufe zusammengefaßten Begriffe dürfen, wie der Autor selbst zu verstehen gibt, nicht als Synonyme angesehen werden. Darüberhinaus muß aber eine Zuordnung der nach unterschiedlichen Kriterien gewonnenen Termini zu den drei bekannten hierarchischen Raumstufen (Makro-,

Tabelle 3 Begriffliche Differenzierungen in der drei-
fachen Stufengliederung klimatologischer
Betrachtungsweisen (aus ERIKSEN 1964 a)

- I Makroklima (GEIGER 1929, WEISCHET 1955)
 - Großklima (PAFFEN 1953, GEIGER 1950)
 - Großraumklima (KRATZER 1956)
 - Landschaftsklima (TROLL 1950)
 - Menschenklima (GEIGER 1961)
 - Regionalklima (WEISCHET 1955)
 - Weltklima (KNOCH 1942)

- II Mesoklima (SCAETTA 1935, PAFFEN 1953)
 - Lokalklima (TROLL 1950, BÖER 1959)
 - Geländeklima (KNOCH 1949, TROLL 1950)
 - Topoklima (THORNTHWAITE 1953)
 - Topographisches Klima (TROLL 1950)
 - Ortsklima (zit.b. WEISCET 1955)
 - Sonderklima (zit.b. WEISCHET 1955)
 - Kleinklima (GEIGER 1934)
 - Kleinlandschaftsklima (PAFFEN 1953)
 - Landschaftsklima (GEIGER 1929, FLOHN 1957)
 - Regionalklima (FLOHN 1957)
 - Heimatklima (KNOCH 1942)
 - Ökoklima (PAFFEN 1953)
 - Zwischenklima (KRATZER 1956)
 - Kleinraumklima (KRATZER 1956)
 - Menschenklima (KRATZER 1956)

- III Mikroklima (GEIGER 1961)
 - Lokalklima (GEIGER 1950)
 - Sonderklima (GEIGER 1950)
 - Ortsklima (GEIGER 1950)
 - Kleinklima (GEIGER 1950)
 - Kleinstklima (TROLL 1950)
 - Klima der bodennahen Luftschicht (GEIGER 1927)
 - Piccoloklima (zit.b. WEISCHET 1955)
 - Miniaturklima (zit.b. WEISCHET 1955)
 - Pflanzenklima (GEIGER 1950)
 - Standortsklima (GEIGER 1961)
 - Bestandsklima (PAFFEN 1953) Ökoklima (GEIGER 1961)
 - Stammraumklima u.ä. (GEIGER 1961, TROLL 1950)

Meso- und Makroklima) als fragwürdig gelten. Der Zusammenstellung muß freilich zugute gehalten werden, daß sie die Schwierigkeit der begrifflich-terminologischen Orientierung offenkundig macht. "Solange eine allgemein anerkannte Klärung nicht erfolgt ist, sollte in klimatologischen Untersuchungen zur Vermeidung von Mißverständnissen auf eine kurze Erörterung dieser Probleme nicht verzichtet werden", zieht ERIKSEN das Fazit.

Freilich liegt die Gefahr einer Selbstverstärkung der terminologischen Verwirrung auf der Hand, insofern als sie den klimatologisch Arbeitenden dazu verleitet, die erforderlichen Definitionen beliebig zu entwickeln. Ohne Frage sollte, wo dies sinnvoll möglich ist, auf Bestehendes zurückgegriffen oder wenigstens daran angeknüpft werden. Mit Recht legt MÄDE (1969) "ein Zurückgehen auf die in den 30er Jahren ... veröffentlichten Gedanken von GEIGER und SCHMIDT" nahe, um die notwendige Klärung herbeizuführen.

Diese Arbeit (1934) stellt trotz ihrer Kürze wohl den bisher umfassendsten Versuch einer Begriffsbestimmung auf klimatologischem Gebiet dar. Sie begründet einerseits die o.a. dreifache Abstufung der klimatologischen Raumdimension, berücksichtigt jedoch daneben weitere Gliederungskriterien wie z.B. die Eigenschaften der Erdoberfläche (incl. Vegetation und Bauten), den Grad der Natürlichkeit und den der Selbstständigkeit der Klimate usw. Dabei sieht der Vorschlag eine kombinierte Bezeichnungsweise vor, welche die verwendeten Kriterien auseinanderzuhalten gestattet. Daß diese eigentlich selbstverständliche begriffliche Trennung heute bei der Behandlung des Klimas kleiner Räume meist verabsäumt wird, kann als die Hauptursache der Begriffsverwirrung angesehen werden.

GEIGER und SCHMIDT verzeichnen das Kriterium der Raumdimension als eines unter insgesamt sieben, hier jedoch an erster Stelle. Aus der dabei angeregten Unterscheidung von Groß-, Klein- und Mikroklima entstand später, nach einem Vorschlag von SCAËTTA (1935), die sprachlich kla-

rere und international verständliche Begriffsdreihheit Makro-, Meso- und Mikroklima, die in dieser Arbeit verwendet wird. Ihrem Wesen nach ist die auf diese Weise vorgenommene Kennzeichnung der Raumdimension eine differentiale (s.o.). Der differentiale Gesichtspunkt zeigt sich darin, daß die Grenzziehung, insbesondere zwischen Mikro- und Mesoklima, auf Grund von Unterschieden in der adäquaten instrumentellen Technik erfolgt. Letztere muß eine um so feinere sein, je kleinräumigere Unterschiede der untersuchten Meßgrößen von Interesse sind.

Statt von einem rein instrumentellen Kriterium auszugehen, wäre es zweifellos noch besser, auch andere Charakteristika der Meßweise einzubeziehen, wie z.B., bei stationärer Messung, Verteilung und Aufstellungsbedingungen der Meßpunkte. Hier gilt es noch Mängel zu beseitigen, die Anlaß für manchen berechtigten Einwand gegen die dreistufige Raumgliederung waren (SCHNEIDER-CARIUS 1961). Die rapiden Veränderungen, die seither auf dem Gebiet der instrumentellen Technik stattgefunden haben, lassen auch von dieser Seite eine Überprüfung der grundlegenden Definitionen geboten erscheinen. Festzuhalten ist jedoch an dem Prinzip einer an der Meßweise (im weitesten) Sinne orientierten differentialen Raumgliederung.

Damit bietet sich die differentiale Raumeinheit selbst als das übergreifende Kriterium der Gliederung an. In ihr sind die instrumentellen wie auch die Aufstellungsbedingungen, Verteilung der Meßpunkte und nachträgliche Generalisierung enthalten. Die konsequente Durchführung dieses Ansatzes bringt aber in sofern eine Schwierigkeit mit sich, als der messend erfaßte Raum in seiner dritten Dimension (vertikal zur Energieumsatzfläche) eine von den beiden Horizontaldimensionen grundsätzlich verschiedene meteorologische Struktur besitzt. Diese Schwierigkeit läßt sich auch in der durch GEIGER und SCHMIDT vorgenommenen Herleitung dreier Raumstufen erkennen. Interessanterweise wurde nämlich das instrumentelle Kriterium für die Unterscheidung zwischen Meso- und Makrostufe von den

Autoren nicht verwendet, sondern ausdrücklich festgelegt, daß für beide Stufen die gleichen im Wetterdienst üblichen Geräte- und Aufstellungsnormen gelten sollen. Das Mesoklima wird dadurch vom Makroklima unterschieden, daß in ihm nur ein "Teil der Landschaft" das Ziel der Klimaforschung darstellt. Das heißt aber, daß bei der Abgrenzung des Mesoklimas gegen das Makroklima mehr die horizontale, gegen das Mikroklima mehr die vertikale Raumerstreckung als maßgebend für die betr. Gliederung angesehen worden ist.

In der Tat haben mikroklimatische Untersuchungen in den meisten Fällen die vertikale, grenzflächenbezogene Struktur der bodennahen Atmosphäre zum Gegenstand. Das trifft jedoch nicht ausschließlich zu. So wurde unlängst von SZÁSZ (1969) die Bedeutung der mikroadvektiven Vorgänge hervorgehoben. Andererseits erscheint es auch wenig sinnvoll, Untersuchungen der Atmosphäre oberhalb 2 Meter generell dann der Mikroklimastufe zuzuordnen, wenn es sich um die Erfassung der Vertikalstruktur handelt. Es ist für die Begriffsbildung durchaus wichtig, daß hier Gradienten, die eine verfeinerte, eben mikroklimatische Meßmethodik erforderlich machen würden, in der Regel nicht mehr angetroffen werden. Zu diesbezüglichen Auffassungen BERÉNYI (1967), demzufolge "selbst das in 2 Meter Höhe gemessene Makroklima ... nur eine Übergangsform des Mikroklimas" darstellt, siehe im nächsten Abschnitt.

Wie sich aus alledem erkennen läßt, kommt es in erster Linie darauf an, ob man Makro-, Meso- und Mikroklima als horizontal oder vertikal gliedernde Begriffe auffaßt. Geht man davon aus, daß die Raumstufen keine in der Realität vorgegebenen Kategorien, sondern nach praktischen Erfordernissen gewählte Abgrenzungen darstellen, so liegt es nahe, sich jeweils auf diejenige Raumerstreckung zu beziehen, in der man die meteorologischen Elemente vorrangig untersuchen möchte. Man muß die Raumstufen also in beiden Richtungen bestimmen und zwar unabhängig voneinander. Über die sinnvollste Grenzziehung wird es zweifellos

widersprüchliche Auffassungen geben. Das hier vorgeschlagene Gliederungsschema (Tab. 4) ist daher mehr als Diskussionsgrundlage denn als verbindlich ausgearbeitetes System aufzufassen.

Tabelle 4 Kennzeichnung der klimatologischen
Raumdimension

Orien- tierung	Bezeichnung	Differentiale, Raumdimension ³⁾	Reichweite ^{x)}
Vertikale Untersu- chungen	Bestandes-, Boden- und Innenklima	0 - 50 cm	---
	Klima der laminaren Grenzschicht	< 0,5 cm	2 cm
	Mikroklima s.str.	0,5 - 50 cm	2 m
	Mesoklima	0,5 - 5 m	20 m
	Makroklima	> 5 m	> 20 m
<i>Horizontale Untersu- chungen</i>	Mikroklima	0 - 20 m	---
	Mesoklima	20 - 2000 m	---
	Makroklima	> 2000 m	---

+)¹⁾ in Richtung der unter-
suchten Gradienten

x)²⁾ bezogen auf die energie-
umsetzende Grenzfläche

Zu den vertikal gliedernden Bereichen wurde neben der meß-
technisch differentialen Raumdimension noch angegeben,
bis zu welchem Abstand von der Energieumsatzfläche (Boden-
oberfläche; bei Vegetationsdecken: äußere tätige Oberflä-
che) sich der betreffende Bereich etwa erstreckt. Beim Mi-

kroklima wurde in der gewohnten Weise die bodennahe Luftschicht bis zu 2 Meter Höhe einbegriffen. Es wird vorgeschlagen, Untersuchungen innerhalb der laminaren Grenzschicht als einer eigenen Stufe zugehörig anzusehen. Das von BLÜTHGEN (1964) so bezeichnete "Klima der Grenzflächen" entspricht im wesentlichen dieser Stufe. Die Klimate in Pflanzenbeständen, im Boden sowie in festen und flüssigen Substraten ließen sich ihrerseits in Bereiche gliedern; doch bleiben die meisten derartigen Untersuchungen im Rahmen der hier als mikroklimatisch gekennzeichneten differentiellen Raumdimension von 0 bis 50 cm. Zur Festlegung der Obergrenze des vertikalen Mesoklimas wurde die Höhe der sog. "Inversionsunterschicht" bei Nacht herangezogen (BROCKS 1948, nach GEIGER 1961). Diese beträgt, bei nur geringer jahreszeitlicher Schwankung, im Mittel etwa 20 m. Ebenso ließe sich die "labile Unterschicht" bei Tage verwenden, deren durchschnittliche Obergrenze gleichfalls bei 20 m liegt, und eine etwas größere jahreszeitliche Streuung aufweist. Der darüberliegende, aerologisch belangvolle Bereich gehört dann dem vertikalen Makroklima an.

Für das horizontale Mesoklima sind objektive Grenzen kaum gegeben. Hier wurde von der bei gelände- und stadtklimatischen Untersuchungen üblicherweise erzielten räumlichen Differenzierung ausgegangen. Dabei ist darauf hinzuweisen, daß die angegebene Untergrenze (20 m) nicht immer erreicht werden kann, bei stadtklimatologischen Arbeiten z.B. wegen der durchschnittlich größeren Dimensionierung der Baublocks. Die Horizontalbereiche Mikro- und Makroklima sind durch die Definition des Mesobereichs mittelbar gegeben.

Ein weiteres, von GEIGER und SCHMIDT angeführtes Kriterium, als "Eigenschaften der Erdoberfläche" bezeichnet, bedarf noch der Erörterung. Die Autoren unterscheiden dabei vier Hauptaspekte und zwar die des Bodens, des Geländes ("Geländeformung"), der Vegetation und der Bauten. Entsprechend wird ein Boden-, Gelände-, Vegetations- und Bautenklima definiert. Der heuti-

ge Begriff von "Geländeklima" (GEIGER 1961, BÖER 1964) faßt im allgemeinen die drei ersten Aspekte zusammen, vereinigt demnach die klimatischen Eigenschaften der stabilen wie auch variabler Gegebenheiten in der Landschaft. MÄDE (1969) hat jedoch darauf hingewiesen, daß unter praxisorientierten Fragestellungen eine getrennte Bewertung derselben geboten sein kann. Die Beweggründe für eine Einbeziehung oder Eliminierung des Pflanzeneinflusses auf den forstlichen Standort sind von FLEMMING (1968b) eingehend diskutiert worden. Hiernach hat die Standortskartierung nach Möglichkeit vom Pflanzeneinfluß abzusehen. FLEMMING: "Die anzustrebende Trennung der Relief- von den Pflanzeneinflüssen kann im Einzelfall allerdings sehr schwierig sein". Für Belange des Waldbaus, des Frostschutzes usw. ist dagegen die Berücksichtigung der von den Bestockungsverhältnissen der Umgebung herrührenden Wirkungen unabdingbar.

Es wird sich empfehlen, den Begriff "Geländeklima" in seinem heute gebräuchlichen umfassenderen Verständnis beizubehalten und den engeren (von Vegetationswirkungen absehbenden) Begriff gesondert zu bezeichnen.

Vegetations- und Bautenklima haben daneben nach wie vor ihre terminologische Berechtigung. Sie sind keinesfalls mit den Begriffen "Bestandesklima" und "Stadtklima" identisch. Beim "Vegetationsklima" sind auch solche Wirkungen einbezogen, die über den Raum hinausreichen, den die Pflanzen selbst einnehmen. Das "Bautenklima" bezieht sich auf die von bebauten Oberflächen (Substrat und Relief) ausgehenden Wirkungen. Der Stadtklimabegriff ist demgegenüber weiter zu fassen. Er wird im Abschnitt 3.7 behandelt.

Beispiele für die kombinierte Begriffsbildung im Sinne von GEIGER und SCHMIDT lassen sich zahlreiche anführen. So gehören Untersuchungen der Temperatur- und Feuchteverhältnisse etc. in den Furchen und auf den Wällen von Hüfelfreihen in den Bereich des R e l i e f - M i k r o - k l i m a s. Werden die Messungen hierbei über verschie-

denem Substrat vorgenommen, so sprechen die Autoren vom **B o d e n - M i k r o k l i m a**, ein freilich mißverständlicher Begriff, der Anlaß zu Verwechslungen mit dem **K l i m a** i m Boden gibt. Sind die Wälle oder Furchen von Pflanzen eingenommen, so kommt als weitere Komponente das **V e g e t a t i o n s - M i k r o k l i m a** hinzu, und man ist berechtigt, die betreffenden Untersuchungen unter der Bezeichnung **G e l ä n d e - M i k r o k l i m a** aufzuführen. BÖER (1964) spricht in diesem Sinne vom mikroklimatischen Bereich des Geländeklimas und unterscheidet ihn von einem lokalklimatischen (oder mesoklimatischen) Bereich (nach dem hier wiedergegebenen Schema besser als **G e l ä n d e - M e s o k l i m a** zu bezeichnen). Diesem zuzurechnen wären z.B. Untersuchungen der Spätfrostgefährdung eines Wuchsortes auf Grund der Geländeform sowie der Verteilung der Böden und der Vegetation im Einzugsgebiet. Ähnlich läßt sich auch das Bautenklima nach der differentialen Raumdimension der Untersuchung weiter gliedern.

Damit sind die Differenzierungsmöglichkeiten noch nicht erschöpft. So findet sich in der Arbeit von GEIGER und SCHMIDT die Unterscheidung der selbständigen von den unselbständigen Klimaten. Näheres zu diesem Kriterium ist einer früheren Arbeit GEIGERS (1929) zu entnehmen. Als unselbständige Mikroklimata sind danach solche zu verstehen, die dem normalen Tagesgang, wie er über offenem, ebenem Gelände zu verzeichnen ist, nur in abgeschwächter und zeitlich verzögerter Form folgen. Unverkennbar ist die Verwandtschaft dieser Kategorie mit den Innenklimaten (z.B. das Klima im Boden oder im Gestein), wo die betreffenden Merkmale am stärksten ausgeprägt sind.

FLOHN (1954) hat versucht, das Selbständigkeitskriterium auf geographisch relevante Raumdimensionen anzuwenden, wobei er es jedoch, m.E. zu Unrecht, als ein genetisches interpretiert. Aus dieser Auffassung heraus ist es freilich konsequent, wenn er anstelle des GEIGERSchen Begriffspaares die Bezeichnung "eigenbürtig" (autochthon) und

"fremdbürtig" (allochthon) verwendet.

Die sprachlich sinnvolle Benennung einer Klimaeigenschaft als fremdbürtig setzt nun aber voraus, daß sie durch ortsfremde Luftkörper in das betreffende Gebiet verfrachtet wurde. Besieht man sich daraufhin die von GEIGER angeführten Beispiele - das Klima von Pflanzenbeständen und Geländeeinschnitten (von Stadtstraßen, ließe sich hinzufügen) - so handelt es sich hier keinesfalls um ein verstärktes Wirksamwerden ortsfremder, sondern um ein besonders konservatives Verhalten am Ort befindlicher Luftkörper auf Grund von autochthonen Gegebenheiten.

Will man überhaupt auf begrenztem Raum nach dem Kriterium der "Bürtigkeit" differenzieren, so bieten sich wohl am ehesten die unterschiedlichen Eigenschaften der Substrate und ihrer Oberflächen bezüglich der dort stattfindenden Energieumsetzungen an. Die Merkmale eines Idealstandortes hinsichtlich der Realisierung fremdbürtigen Klimazüge lassen sich aus einer einzigen Grundbedingung ableiten, daß nämlich der Energieumsatz an der Grenzfläche Substrat - Atmosphäre den kleinstmöglichen Betrag aufweisen sollte. Eine hinreichende horizontale Erstreckung der betr. Gegebenheiten, insbesondere luvseitig der Meßstelle, sei dabei vorausgesetzt, ohne daß dieses "hinreichend" hier näher bestimmt werden kann. Beschränkt man sich bei diesem Gedankenexperiment auf die thermischen Eigenschaften, deren richtige und "repräsentative" Erfassung ja im Mittelpunkt aller Aufstellungsprobleme von Klimastationen steht, so kommt man etwa zu den nachfolgend zusammengestellten Anforderungen an einen die fremdbürtigen Klimazüge möglichst rein zur Geltung bringenden Standort:

Die Substratoberfläche reflektiert nahezu 100% der einfallenden Strahlung im gesamten Spektralbereich. Hieraus folgt, im Bereich der terrestrischen Strahlung, eine minimale Emissivität. Es wird also unter den Bedingungen des 'Einstrahlungstypus' (GEIGER 1961), zu keiner nennenswerten Übertemperatur der Substratoberfläche kommen, wo-

durch die darüberliegende Luft, wie das Substrat selbst, nur eine geringfügige tagesperiodische Erwärmung erfahren. Entsprechendes gilt im Falle negativer Strahlungsbilanz (Ausstrahlungstypus nach GEIGER).

Unter der Voraussetzung, daß sich diese, das Strahlungsverhalten betreffende Bedingung ideal erfüllen läßt (angenähert z.B. durch eine hochglänzende Metallfläche), wäre weiter erforderlich, die leitende Wärmeübertragung vom Substrat zu Luft und umgekehrt möglichst niedrig zu halten, somit auch die Dämpfung der aperiodischen Temperaturschwankung. Sofern der Strahlungsbedingung nicht voll genügt werden kann, wird die optimale Realisierung der fremdbürtigen Klimaeigenschaften bei einem etwas höheren Betrag für den leitenden Wärmeübergang zu verzeichnen sein.

Schließlich ist zu beachten, daß geschützte Lagen und Substrate hoher aerodynamischer Rauigkeit eine Dämpfung der aperiodischen und - bei nicht zu starker Abschirmung der Globalstrahlung - eine Verstärkung der periodischen Schwankungen bewirken. Daher sollte das Meßgelände eine freie Lage und günstige Belüftungsverhältnisse aufweisen.

Einen Idealstandort für die Erfassung eigenbürtiger Klimazüge kann man nicht definieren, da es hierbei in der Regel auf kleinräumige Unterschiede in den realen Verhältnissen ankommt. Allenfalls lassen sich Witterungsbedingungen definieren, unter denen fremdbürtige Eigenschaften keine nennenswerte Rolle spielen und die daher für die Feststellung der autochthonen Gegebenheiten den besten Zeitpunkt darstellen. Für die klimatologische Gesamtbeurteilung müssen freilich auch solche Wettertypen Berücksichtigung finden, bei denen sich autochthone Klimaeigenschaften nur schwach auszuprägen vermögen.

3.4 Ansätze zur genetischen Differenzierung bei der klimatologischen Untersuchung kleiner Räume

Genetische Klassifikationen werden bei der Betrachtung des weltweiten Klimas schon seit längerer Zeit verwendet und sind in neuerer Zeit z.B. von HENDL (1960) fortgeführt worden. Im Gegensatz zu den effektiv ausgerichteten versuchen genetische Systeme nach den klimatischen Gegebenheiten zu gliedern. Diese werden in "der Verschiedenheit der geographischen Breite, der Verteilung von Land und Meer und der großen Züge der Bodengestaltung" gesehen (HETTNER 1911) und bilden sich vor allem in der Luftdruckverteilung und der allgemeinen ("planetarischen") Zirkulation ab. Die Definition schließt die Berücksichtigung autochthoner Charakteristika ein, wie sie z.B. bei HENDL in der Kategorie des "parautochthonen Plateauklimas" zum Ausdruck kommt. Relevante Unterschiede in den energieumsetzenden Eigenschaften bestehen nicht nur zwischen Land- und Wasserflächen, sondern auch zwischen Landoberflächen verschiedener Vegetationsdichte, Bodenfarbe, Schneebedeckung etc., was aber im makroklimatischen Vergleich nur schwer explizit darstellbar sein dürfte.

Es ist leicht einzusehen, daß die örtlichen Oberflächen- und Substratgegebenheiten eine noch größere Bedeutung bei der Betrachtung von Räumen erlangen müssen, die klein genug sind, daß innerhalb derselben die makro-allochthonen Klimazüge keine belangvollen Differenzen mehr aufweisen. So wird in der Geländeklimatologie die autochthone Komponente des Klimas ebenbürtiger, in der Mikroklimatologie sogar vorrangiger Untersuchungsgegenstand. Auch in diesen Teilgebieten der Klimawissenschaft sind daher von Fall zu Fall genetische Kriterien zur Anwendung gelangt, ohne daß aber bisher eine systematische Bearbeitung erfolgte.

So versucht BÖER (1964) die Klimavarianten im Gelände zwar als genetische zu beschreiben und empfiehlt "eine Einordnung in verschiedene Kategorien von klimabildenden

Prozessen (Komplexen von Klimafaktoren)"; jedoch erweisen sich seine Kategorien bei genauerem Hinsehen als identisch mit den Bereichen der räumlich-hierarchischen Klimagliederung (hier: mikro-, lokal- und makroklimatisch). Der Autor definiert lediglich deren Inventar an wirksamen Faktoren und Prozessen, was zwangsläufig zu breiten Überschneidungsbereichen und somit unscharfer Abgrenzung führt.

BERÉNYI (1967) vermeidet die hier unterlaufene Vermengung von Kriterien zwar in der Sache, leider jedoch nicht in der Bezeichnung. Er nennt *M i k r o k l i m a* "eine Übergangserscheinung, die überall auftritt, wo die Luft mit einem Medium in Verbindung tritt, dessen Aggregatzustand oder Dichte von ihr abweicht". Eine solche Definition fußt allein auf dem genetischen Kriterium des klimawirksamen Prozesses, hier: die energetischen Umsetzungen an Grenzflächen. Für das so verstandene "Mikroklima" wird folgerichtig als obere Begrenzung *d i e* Fläche angesehen, von der ab die meteorologischen Elemente ihren für die freie Atmosphäre (Troposphäre) charakteristischen, annähernd konstanten Gradienten angenommen haben. Der Terminus "Mikroklima" gerät hier mit seiner räumlichen Bedeutung in Konflikt, denn diese obere Grenzfläche befindet sich im Mittel in einer Höhe von etwa 20 Metern (BROCKS nach GEIGER 1961). Darüber hinaus erstrecken sich die unmittelbar grenzflächenbezogenen Austauschvorgänge sogar noch in weit größere Höhen. Diese Gegebenheiten legen geradezu die paradoxe Bezeichnung "Makro+Mikroklima" nahe. Es wird daraus deutlich, daß ein genetischer Sachverhalt des Klimas nur in einer genetischen Terminologie adäquat darstellbar ist. Die Zeit für den Versuch einer entsprechenden begrifflichen Klärung dürfte reif sein, da immer wieder genetische Elemente ungeschieden in klimatologische Definitionen eingehen und umgekehrt nicht-genetische Termini für genetische Sachverhalte Verwendung finden, in dem angeführten Fall z.B. im Titel eines Lehrbuchs.

Auch in der stadtklimatologischen Literatur hat die nicht

vollzogene terminologische Trennung der unterschiedlichen Kriterien gelegentlich zu verwirrenden Aussagen geführt, so z.B. wenn PARRY (1967) sich dafür einsetzt, "den im wesentlichen mikroklimatischen Charakter des Stadtklimas anzuerkennen".

3.5 Versuch einer Gliederung des örtlichen Klimas nach genetischen Gesichtspunkten

Eine genetische Gliederung läßt sich nach zwei unterschiedlichen Kriterien vornehmen, dem der B ü r t i g k e i t und dem der k l i m a w i r k s a m e n G e g e b e n - h e i t (=Klimafaktor). Der erstere Ansatz trägt wenig zur Differenzierung bei, sofern man sich auf die beiden Grundkategorien, autochthon und allochthon, beschränkt. Eine Differenzierung nach Ursprungsgebieten und Zugbahnen der klimawirksamen Luftmassen läßt jedoch die Auswirkungen der örtlichen Gegebenheiten zu sehr in den Hintergrund treten. Diese kommen am besten in einer Gliederung nach Faktoren zum Ausdruck, wobei die Grundkategorien der Bürtigkeit zusätzlich Berücksichtigung finden können. Sinnvoll verfolgen läßt sich der Gliederungsansatz über die Klimafaktoren freilich nur im unmittelbaren Bereich des untersuchten Standortes. Von welchen Faktoren sich die mit den jeweiligen Luftmassen von weither an den Meßort verfrachteten Eigenschaften quantitativ herleiten, muß außer Betracht bleiben. Es erschien angezeigt, diese Eigenschaften insgesamt als einen Klimafaktor sui generis aufzufassen, der in seiner durchschnittlichen Ausprägung und zeitlichen Veränderlichkeit den klimatischen Standort mitbestimmt. Der geographisch bzw. kältographisch arbeitende Klimatologe kann diesen Weg nicht gehen, denn er muß bestrebt sein, alle Landesteile in gleicher Differenzierung zu behandeln. Sehr wohl möglich und auch sinnvoll erscheint ein solcher Gliederungsansatz jedoch bei ortsbezogenen Fragestellungen, etwa der Stadtklimatologie oder der Gebietsplanung.

In Tabelle 5 liegt der Versuch einer derartigen Klimagliederung vor. Von **a l l g e m e i n e n** Faktoren ist hier zu sprechen, im Unterschied zu speziellen klimawirksamen Gegebenheiten, wie z.B. Wald, Wasserflächen, städtische Bebauung usw., welche zumeist unter dem Begriff "Klimafaktoren" verstanden werden. Als Grundlage eines genetischen Faktorenschemas und auf einen Ort bezogen sind diese wenig geeignet, weshalb sie hier außer Betracht bleiben.

Es empfiehlt sich eine Unterscheidung in **k o n s t i - t u i e r e n d e** und **m o d i f i z i e r e n d e** Faktoren. Unter den ersteren seien alle Vorgänge einbegriffen, welche direkt zum Energie- und Stoffgehalt des betr. erdräumlich begrenzten Atmosphärenausschnittes beitragen, im wesentlichen also Sonneneinstrahlung, Advektion s.l. und Emissionen. Die modifizierenden Faktoren steuern passiv die Umsetzungs- und Ausbreitungsweisen von Substanzen und Energien innerhalb des Systems (Luftraum und Untergrund). Es handelt sich dabei um die Gegebenheiten des Untergrundes sowie um die Höhe des Geländes über dem Meeresniveau, also ausschließlich um autochthone Einflüsse. Die konstituierenden Faktoren sind dagegen, mit Ausnahme der Emissionen, als allochthon zu bewerten.

Bei der Definition der allgemeinen Klimafaktoren wurde davon ausgegangen, daß es sich, zumindest im örtlichen Bezug, um "letzte Ursachen" handeln müsse, um autonome, weder von der aktuellen lokalen Situation (Witterung) noch voneinander abhängige Faktoren. So kamen als Klimafaktor **I n s o l a t i o n** nur die entsprechenden Verhältnisse an der Obergrenze der Atmosphäre infrage, welche nur von der Sonnenhöhe, also den geographischen Koordinaten, sowie Jahres- und Tageszeit, nicht aber vom Momentanzustand der Atmosphäre abhängen, in dem sich auch alle übrigen Faktoren quantitativ und qualitativ manifestieren.

Für die **A d v e k t i o n** ist die Festlegung eines Bezugsniveaus nicht in so allgemeingültiger Weise möglich.

Tabelle 5 Zusammenstellung der allgemeinen Faktoren
des örtlichen Klimas

Konstituierende Faktoren

I n s o l a t i o n

($I_0 \sin h$)

A d v e k t i o n

a) quantitativ (Windstärke)

b) qualitativ (Luftzustand,
Luftmassen-
dynamik)

a
l
l
o
c
h
t
h
o
n

E m i s s i o n s p o t e n t i a l

(substantiell und thermisch)

Modifizierende Faktoren

U n t e r g r u n d

a) spezif. Oberflächenform
und -gliederung

b) spezifische Grenzflächen-
qualität

c) spezif. Substratqualität

a
u
t
o
c
h
t
h
o
n

H ö h e ü b e r N N

I_0 = Solarkonstante

h = Höhenwinkel der Sonne

Zunächst sei ausgeführt, was der Begriff hier beinhaltet. Er steht für die horizontale Komponente aller atmosphärischen Massenbewegungen, die von außen her den durch die Messung repräsentierten Raum erreichen und beeinflussen. Sowohl der quantitative (Windstärke) als auch der qualitative Aspekt dieses Vorganges ist einbegriffen und zwar ohne Rücksicht auf die Herkunft der betreffenden Luftkörper. Qualität advektiver Luftkörper meint nicht allein die im Zuge weiträumiger Zirkulationen herangeführten unterschiedlichen Luftmassen, sondern zugleich die an den Ort gelangenden dynamischen Gebilde wie Zyklonen, Fronten, Konvergenzen, atmosphärische Schwingungen etc. mit ihren jeweiligen Erscheinungsformen (z.B. Bewölkung, Niederschläge). Ferner sind neben den ferntransportierten Eigenschaften der sog. Haupt-Luftmassen auch solche zu berücksichtigen, die ein Luftkörper erst unmittelbar vor dem Erreichen der Meßstelle über benachbartem Substrat angenommen hat, etwa beim Überströmen einer Wasserfläche, einer sonnen-erwärmten Asphaltdecke oder dgl. Damit dürfte zu folgern sein, daß die advektive Vermittlung von Luftqualität in ihrer ganzen Horizontalerstreckung als Klimafaktor relevant ist. Beim quantitativen Aspekt der Advektion gilt prinzipiell das Gleiche; doch wird im bodennahen Reibungsraum innerhalb der Grundsicht (SCHNEIDER-CARIUS 1953) der Faktor Untergrund mit erfaßt. Dies läßt sich, bei genügend großmaßstäbiger Untersuchung, vertreten, sofern die so erhaltenen Daten als Relativwerte verstanden werden. Die Vergleichbarkeit mit anderenorts vorgenommenen Untersuchungen ist in diesem Falle jedoch nicht gegeben.

Unter Emission wird hier nicht der Strahlungsphysikalische, sondern der substantielle Begriff verstanden (Zuführung gasförmiger, flüssiger oder fester Stoffe an die atmosphärische Luft). Neben Einbringungen auf Grund von natürlichen oder mehr oder weniger naturnahen Gegebenheiten (z.B. Brandung, Staubstürme, Pollenabgabe windblütiger Pflanzen) sind besonders artifizielle Einbringungen (Verunreinigungen) zu nennen. Mit ihnen zugleich werden in der Regel beträchtliche Mengen aktueller und latenter

Wärme der umgebenden Luft unmittelbar zugeführt. Es erscheint sinnvoll, diese energetischen Einbringungen gleichfalls zu den Emissionen zu zählen, nicht dagegen die bei industriellen Prozessen, Heizung und dgl. von der Raumluft und den Gebäudewänden aufgenommenen Wärmemengen, die ebenfalls letztlich der Außenluft, jedoch mittelbar, zugute kommen. Sie stellen Auswirkungen der speziellen Eigenschaften des hier künstlich geschaffenen und konditionierten Untergrundes dar.

Die aktuelle Emission ist deshalb nicht als ein autonomer Klimafaktor zu bewerten, weil sie wenigstens teilweise von Windstärke und Untergrundeigenschaften mitbestimmt wird. Stattdessen wird hier das Emissionspotential eines Ortes oder Gebietes verwendet, also das Grundangebot von unter vorkommenden Bedingungen dem Luftraum zuführbaren Substanzen. Bei der artifiziellen Kontaminierung ist das Emissionspotential in der Regel mit der Emission selbst identisch. Zu beachten sind jedoch vermittelte Zusammenhänge (witterungsbedingt veränderliche Aktivitäten, z.B. Ausflugsverkehr mit Kraftfahrzeugen).

Als Emission gelten die genannten Vorgänge nur innerhalb einer Lokalität vereinbarter Umgrenzung. Anderenorts emittierte Substanzen oder Energien treten am Meßort als Immissionen auf und gehören als solche dem Klimafaktor Advektion an oder aber Sekundärprozessen, die von mehreren Faktoren gemeinsam in Gang gehalten werden (z.B. vertikaler Austausch).

Überlegungen zur Definition von weitestgehend autonomen Kategorien sind auch bei den modifizierenden Klimafaktoren erforderlich. So ist beim Faktor Untergrund wiederum das relativ persistente Wirkungspotential des jeweiligen Substrates und seiner Oberflächen gemeint, nicht jedoch der kurzfristig veränderliche, witterungsabhängige aktuelle Zustand des Untergrundes.

Unter dem Begriff "spezifische Oberflächenform und -glie-

derung" seien hier neben der Geländeformung im großen auch das Kleinrelief sowie das künstliche Relief der Bauten und das natürliche der oberirdischen Pflanzenteile einbezogen. Zu nennen sind Auswirkungen der Oberflächenrauheit, der Horizontabschirmung sowie der Stau- und Föhnwirkungen. Die charakteristischen jahres- und z.T. tageszeitlichen Veränderungen der Pflanzendecke gehören dabei dem Faktor durchaus an, wie ja das Klima selbst unter Einbeziehung der typischen Jahres- und Tagesgänge definiert ist.

Entsprechendes gilt auch für die spezifische Grenzflächenqualität, worunter hier lediglich die potentiellen Reflexions-, Absorptions- und Emissionseigenschaften der Oberflächenmaterialien gemeint sind (Emission hier im strahlungsphysikalischen Sinne). Es sei darauf hingewiesen, daß der Betrag der Albedo nicht nur hiervon, sondern, über die Erscheinung der Mehrfachreflexion, auch vom vorhergenannten Faktor mitbestimmt wird.

Struktur und Textur der Böden sowie die physikalischen Eigenschaften der bodenbedeckenden Materialien (Pflanzenteile, Bauten) üben erheblichen Einfluß auf das örtliche Klima aus. Sie bilden die "spezifische Substratqualität". Einbegriffen ist die potentielle Wasserführung, soweit sie auf den Eigenschaften des festen Substrates sowie auf der Formung wasserleitender Schichtflächen, der Beziehung zu benachbarten Gewässern etc. beruht. Witterungsbedingte Veränderungen bleiben wiederum ausgeschlossen. Auch die Wirkung von Vegetation auf das Klima muß teilweise als Substratqualität verstanden werden, wobei, neben Wärmeleitfähigkeit und -kapazität der Pflanzenteile, vor allem die Transpirationsleistung interessiert: auch das Substrat "Vegetation" läßt sich nach seiner potentiellen Wasserführung definieren.

Schließlich ist noch die Höhe über NN von Interesse. Genaugenommen ist damit die Masse der durchschnittlich über dem Meßort gelegenen Luftschicht gemeint, durch welche

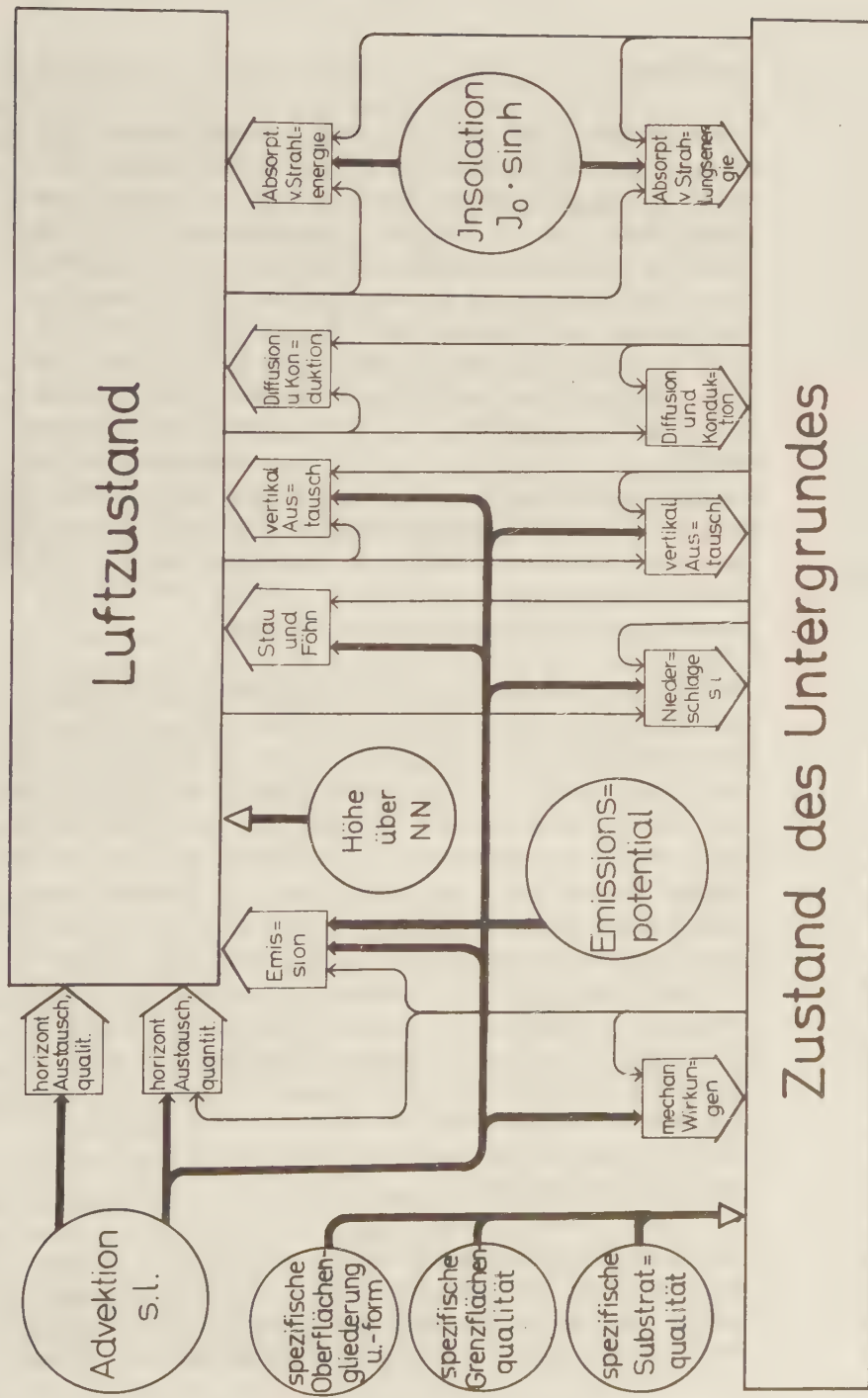
die lokalen Strahlungsbilanzen charakteristisch beeinflusst werden. Ein weiterer Höheneffekt beruht auf den wärmephysikalischen Gesetzmäßigkeiten, welche beim Vertikaltransport eines Luftquantums zur Auswirkung gelangen; doch fällt diese Wirkung nur zum kleineren Teil unter den betreffenden Klimafaktor, da sie unter lokalem Aspekt schon größtenteils im Faktor Advektion enthalten ist. Gleiches gilt für den Sedimentationseffekt, demzufolge höhere Luftschichten im großen und ganzen weniger Verunreinigungen aufweisen als tiefere.

Auf welche Weise sich die genannten allgemeinen Klimafaktoren im örtlichen atmosphärischen Zustand realisieren, zeigt in groben Zügen Abbildung 1, wobei von einer Differenzierung nach Klimaelementen gänzlich abgesehen wurde.

Große Kreise symbolisieren die konstituierenden, kleinere die modifizierenden Faktoren. Die ^{kästen} Pfeile stellen unterschiedliche Vermittlungs- und Umsetzungsweisen (Wirkungskomplexe) innerhalb des Systems dar. Wie man sieht, sind die allgemeinen Klimafaktoren zumeist direkt beteiligt (stark ausgezogene Verbindungslinien), oder es handelt sich, wie bei Diffusion und Konduktion (molekulare Wärmeleitung), lediglich um sekundäre Vorgänge auf Grund der komplex bewirkten Zustände von Luftmasse und Untergrund. Ganz unabhängig von persistenten oder aktuellen Lokalgegebenheiten ist nur der qualitative Teil des Horizontalaustausches.

Die wesentlichen Gesichtspunkte zum Verständnis des Modells wurden bereits im Zusammenhang mit den allgemeinen Klimafaktoren erörtert. Einige Erläuterungen unmittelbar zum Modell seien jedoch hinzugefügt.

Zur Emission z.B. industrieller Abgase und Stäube sind advektive Prozesse nicht erforderlich; wohl aber beeinflussen sie deren Auswirkung auf den lokalen Luftzustand durch Verdünnung. Eine andere Gruppe von Emissionen setzt dagegen den Wind zur Realisierung des potentiellen Dargebots voraus. Hier ist ferner der Zustand des Untergrundes



bedeutsam.

Dieser Hinweis läßt die sehr grob zusammenfassende Darstellungsweise erkennen, die für das Modell gewählt werden mußte, um es einigermaßen übersichtlich zu halten. Einerseits können mehrere Vorgänge übereinstimmender Wirkungsrichtung durch eine einzige Verbindungslinie dargestellt sein; andererseits ist versucht worden, alle denkbaren Beziehungen zu berücksichtigen und auch dann durch entsprechende Linien wiederzugeben, wenn sie nur für einen nicht obligaten Teilaspekt des durch den Pfeil bezeichneten Komplexes zutreffen. Dem Modell kann nicht entnommen werden, wie sich die in den Pfeil einmündenden Einzelwirkungen zur den Zustand der Luft bzw. des Untergrundes verändernden Gesamtwirkung kombinieren. Der Pfeil-Kasten ist somit als Blackbox aufzufassen, ungeachtet dessen, daß die betreffenden Vorgänge prinzipiell bekannt und in einem erweiterten Modell auch darstellbar sind.

Das hier an Hand der Emissionen Ausgeführte gilt sinngemäß auch für die anderen Wirkungskomplexe, so für den Komplex Niederschläge. Hier wird z.B. der in der Darstellung mitberücksichtigte direkte Advektionseinfluß (Windstärke) nur bei speziellen Formen (insbesondere Raufrost und Nebelniederschlag) angetroffen. Eine Rückwirkung des Untergrundes besteht einerseits über den Wind (Bodenreibung), andererseits über die Temperatur (Kondensation an Oberflächen). Der Niederschlagsbegriff in seinem hier gemeinten umfassenden Verständnis umschließt nicht nur die dem Wasserdampf der Atmosphäre entstammenden fallenden oder abgesetzten, festen oder flüssigen Niederschläge mit ihren Beimengungen, sondern darüberhinaus auch hiervon unabhängig sedimentierende Partikel. Gemeinsam ist den betreffenden Vorgängen, daß sie, für sich allein, nur nach unten gerichtet verlaufen.

Im Gegensatz hierzu stehen zwei Gruppen von Vorgängen, durch die Eigenschaften der Luft in beiden Richtungen vermittelt werden können. Beim vertikalen Austausch umfaßt der Transport den Luftkörper als Ganzen, mit all seinen

Eigenschaften. Zu unterscheiden sind Konvektions- und Reibungsaustausch. Nur für den letzteren gilt die im Schema angedeutete direkt Mitwirkung der Advektion (Windstärke). Bei Diffusion und Konduktion geschieht der Austausch von Eigenschaften nicht vermittelt Luftkörpertransport, sondern durch den jeweiligen, ruhenden oder bewegten Luftkörper hindurch. Die Intensität bzw. Quantität des Austausches bestimmt sich hier aus dem vertikalen Gradienten der betr. Eigenschaft selbst. Da der Begriff Diffusion in der meteorologischen Literatur auch für die Gesamtheit der atmosphärischen Ausbreitungsvorgänge Verwendung findet, erscheint es notwendig, darauf hinzuweisen, daß er hier in dem engeren Sinne der physikalischen Definition gemeint ist. Er bezieht sich also nur auf die spontane Vermischung, hier insbesondere von Gasen, auf Grund der Wärmebewegung der Moleküle.

Die Strahlungsvorgänge sind in größtmöglicher Vereinfachung wiedergegeben. Auf eine Darstellung der weder innerhalb der Atmosphäre noch an Oberflächen des Untergrundes umgesetzten, d.h. aus der Atmosphäre herausgebeugten oder -reflektierten Anteile der Sonnenstrahlung (Gesamtalbedo) wurde verzichtet. Somit werden auch die Lichtverhältnisse durch das Modell nicht erfaßt.

Innerhalb des durch das Modell abgebildeten Systems können an mehreren Stellen anthropogene Wirkungen in Erscheinung treten. Neben der schon behandelten künstlichen Luftverunreinigung spielen insbesondere die temporären und persistenten Veränderungen des Untergrundes eine Rolle. Das Schema läßt erkennen, daß hiervon nahezu alle örtlichen klimawirksamen Prozesse betroffen sind.

An einer Reihe von Stellen fällt auf, daß Wirkungen auf den Zustand des Untergrundes von diesem selbst modifiziert werden (Rückkopplung). Entsprechendes gilt für Wirkungen auf den Luftzustand. Abgesehen von der durch das Modell nur unvollkommen vermittelten Komplexität der wirklichen Verhältnisse, kommt schon in derartigen Strukturen zum

Ausdruck, welche Schwierigkeiten etwa einer quantitativen Systemanalyse entgegenstehen dürften. Hinzu kommt, daß als Luftzustand hier eine praktisch wenig brauchbare vertikale Synthese des ganzen dem Bezugsgebiet zugeordneten Atmosphärenausschnittes angenommen wurde. Im Normalfall wird es sich aber darum handeln, den Luftzustand in Bodennähe (definierter Abstand von der Bodenoberfläche oder der "äußeren tätigen Oberfläche" eines Pflanzenbestandes) in seiner Abhängigkeit von den allgemeinen Klimafaktoren und dem Zustand des Untergrundes sowie dem Zustand der darübergerlegenen Luftschichten darzustellen. Für die letzteren kann man sich möglicherweise auf wenige repräsentative Niveaus beschränken. Aber auch dies erfordert bereits eine wesentliche Erweiterung und Komplizierung des hier wiedergegebenen Modells.

3.6 Zur Stellung des Stadtklimas innerhalb der Klimatologie

Soweit in der stadtklimatologischen Literatur systematische Fragen eine Rolle gespielt haben, handelte es sich meist darum, das Klima der Stadt einem der drei Klimabereiche (Mikro- Meso- oder Makroklima) oder einer der geographisch definierten Raumkategorien zuzuordnen.

Die meisten stadtklimatologischen Untersuchungen gehören nach den in Tabelle 4 gesetzten Grenzwerten dem horizontalen Mesoklima an. Doch müssen auch Arbeiten mikroklimatischer Differenzierung, z.B. über das Klima der Höfe, Straßen und Plätze, der Stadtklimatologie zugerechnet werden. Schließlich sind schon heute Stadtlandschaften einer solchen Ausdehnung bekannt, daß sie eine makroklimatische Behandlung im Sinne der hier zu Grunde gelegten Terminologie zulassen. Dies läßt klar erkennen, daß Erwägungen, das Stadtklima allgemein mit einer Raumkategorie zu identifizieren, wertlos sind.

Man kann wohl sagen, daß das, was hier am Beispiel der Raumdimension gezeigt wurde, im wesentlichen auch für

die anderen klimatologischen Kriterien gilt. Das Stadtklima ist Bautenklima, aber auch Vegetations-, Boden- und Reliefklima. Es besitzt auffallend autochthone Züge; diese entfalten sich jedoch, wie bei allen Außenklimaten, nur innerhalb des durch die Abfolge der Witterungen gegebenen Rahmens. Dabei kommen dem Stadtklima zweifellos Eigenschaften zu, die es allgemein zu charakterisieren erlauben. Das hat es jedoch mit den Klimaten anderer Strukturen (Wald-, Acker-, Stromtallandschaften, Seengebiete etc.) gemeinsam. Von diesen läßt es sich im Zuge einer regionalen Klimaaufnahme unterscheiden, ohne aber dabei einen anderen systematischen Rang zu erlangen.

Eine Sonderstellung gebührt dem Stadtklima jedoch unter einem ganz anderen Aspekt, den auch KRATZER (1956) in seiner knappen Definition anspricht: es ist in Potenzierter Weise M e n s c h e n k l i m a , einmal als biologisch wirksame Umweltgegebenheit für den Menschen selbst, zum anderen indirekt, als physikalisches Milieu seiner zivilisatorischen Einrichtungen, seiner produktiven, distributiven und reproduktiven Funktionen. Darüber hinaus ist es zu einem Teil ein von Menschen geschaffenes und von Menschen modifizierbares Klima. Im abschließenden Teil der vorliegenden Arbeit, worin, unter Einbeziehung von hier erzielten Ergebnissen, eine partielle Charakterisierung des stadttypischen Klimas versucht wird, soll auch dieser planerische Aspekt Berücksichtigung finden.

Das Besondere des Stadtklimas beruht also nicht so sehr auf seinen objektiven Gegenheiten, als vielmehr auf der klimatologischen Betrachtungsweise, welche hierbei vorzüglich zur Anwendung kommt. Der Schwerpunkt liegt auf den biologisch und technisch wirksamen Klimaelementen. Der effektive Aspekt des Klimas steht also im Vordergrund des Interesses; jedoch ist das Stadtklima, als ein im Zuge der menschlichen Aktivitäten unbeabsichtigt Mitproduziertes, auch durch die Bedeutung genetischer Gesichtspunkte zu charakterisieren.

4. Charakterisierung des Untersuchungsgebietes

4.1 Größe, topographische Lage und naturräumliche Zuordnung Westberlins

Die Stadt Berlin, ehemalige Hauptstadt des deutschen Reiches, nimmt eine Fläche von insgesamt 884 qkm ein, entsprechend etwa der dreifachen Fläche Münchens oder der Kernfläche des Rheinisch-Westfälischen Industriegebietes zwischen Duisburg und Bochum. 481 qkm hiervon (54% der Fläche Groß-Berlins) entfallen auf das Untersuchungsgebiet (Westberlin).

Im nordostdeutschen Tiefland gelegen, gehört Berlin dessen mittlerem Bereich an, der Zone der pleistozänen Platten und Urstromtäler, die sich zwischen Baltischem Höhenrücken und Flämingzug (Südlicher Landrücken) erstreckt. Die hier anzutreffenden Landschaftsformen wurden im wesentlichen während des Eiszeitalters (Pleistozän) geschaffen. Jüngeren (holozänen) Ursprungs sind jedoch die Schwemmböden der Flüsse, welche teilweise, wie im Berliner Raum die Spree, dem Verlauf der Urstromtäler nach WNW folgen, teilweise auch, im Zuge glaziärer Rinnen, die Moränenwälle und -platten quer durchschneiden (z.B. Havelseen). Das alte Berlin nahm die schmalste Stelle des Warschau-Berliner Urstromtales (Spreetal) zwischen den pleistozänen Platten des Barnim im Norden und des Teltow im Süden ein. Beide sind dann, insbesondere seit der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts, teilweise in den städtischen Siedlungsraum einbezogen worden. Mit der Eingemeindung weiterer Randgebiete im Jahre 1920 kamen auch ein Abschnitt der Havelniederung, sowie der hieran westlich anschließenden Grundmoräne zu Berlin, ferner die Niederungsgebiete im Westen und Norden der alten Festungsstadt Spandau.

Nach den Kriterien einer Naturräumlichen Gliederung (MEY-NEN und SCHMITHÜSEN 1953) hat Berlin an vier Gruppen von Haupteinheiten Anteil: dem L u c h l a n d (78), der O s t b r a n d e n b u r g i s c h e n P l a t t e (79),

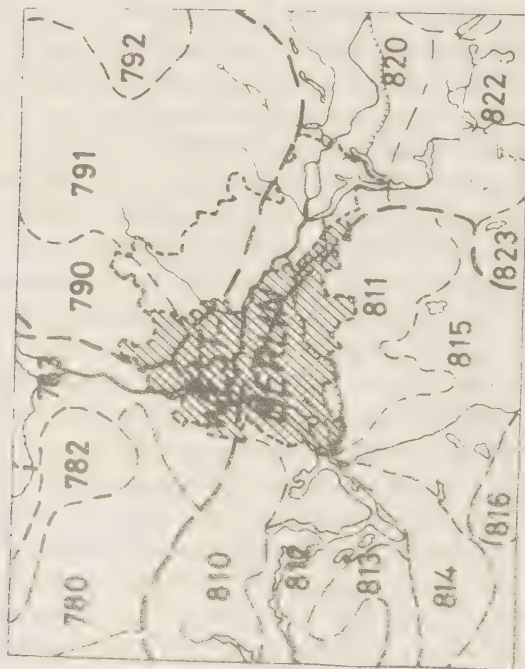
den Mittelbrandenburgischen
Platten und Niederungen (81) sowie
dem Ostbrandenburgischen Heide-
und Seengebiet (82). Die beiden letztgenannten
nehmen dabei den Überwiegenden Teil der Stadtfläche ein.

Abbildung 2 zeigt die Lage des Stadtgebietes und seiner
Umgebung innerhalb der dort gegebenen Naturräumlichen
Einheiten. Hingewiesen sei auf die mit 790 bezifferte
Einheit "Westbarnim". Dieses Gelände fällt in Richtung
auf die Havelniederung und das Warschau-Berliner Urstrom-
tal "mit meist nur sanfter Böschung" ab (E.SCHOLZ in MEY-
NEN, SCHMITHÜSEN u.a. 1961). Ähnliches gilt für die Ab-
dachung der Barnimplatte (791) nach Süden. Bei der ther-
mischen Charakteristik des nördlichen Westberlin wird an
diesen Umstand zu erinnern sein.

Zwischen den Einheiten 82 und 78 ist der Übergang fließend.
Dagegen findet sich überall innerhalb Westberlins an der
Grenze zwischen den Mittelbrandenburgischen Platten und
dem Warschau-Berliner Urstromtal (Spreetal und Luchland)
eine markante Geländestufe. Da diese auch westlich der
Havel ausgebildet ist, sollte das betreffende Gebiet bis
nahe an die hier seenartig erweiterte Unterhavel statt
der Einheit 812 (Brandenburg-Potsdamer Havelgebiet) bes-
ser der Einheit 810 (Nauener Platte) zugerechnet werden.

ELLENBERG (1954) hat darauf aufmerksam gemacht, daß den
bei der Naturräumlichen Gliederung vorrangig verwendeten
geomorphologischen Kriterien für die pflanzenstandorts-
gemäße Planung nur relativ geringe Bedeutung zukommt. Ge-
gen eine Naturräumliche Gliederung innerhalb von Städten
und Stadtagglomerationen sind darüberhinaus grundsätzli-
che Vorbehalte am Platz. Zum einen spielt Natur als "die
für uns wahrnehmbare irdische Wirklichkeit, insoweit die-
se ohne Zutun des Menschen entstanden ist" (WESTHOFF in
SCHIMMEL 1970), im städtischen Bereich eine erheblich
eingeschränkte Rolle. Selbst im Falle plötzlichen Aufhö-
rens jeglicher menschlicher Aktivitäten wird es hier kei-

- 78 Luchland
- 780 Unteres Rhinluch, Oberes Rhinluch
u. Havelländisches Luch
- 782 Belin u. Glin
- 783 Zehdenick - Spandauer Havelniederung
- 79 Ostbrandenburgische Platten
- 790 Westbarnim
- 791 Barnimplatte
- 792 Waldhugelnd des Oberbarnim
- 81 Mittelbrandenburgische Platten
u. Niederungen
- 810 Nauener Platten
- 811 Teltowplatte
- 812 Brandenburg-Potsdamer Havelgebiet
- 813 Lehniner Land
- 814 Beelitzer Heide
- 815 Nuthe-Notte - Niederung
- 816 Luckenwalder Heide
- 82 Ostbrandenburgisches Heide-
u. Seengebiet
- 820 Berlin - Fürstenwalder
Spreetalniederung
- 821 Saarower Hügel
- 822 Dahme - Seengebiet
- 823 Zossen - Teupitzer Platten -
u. Hugelnd



(nach MEYNEN, SCHMITHÜSEN u.a. 1961)

Abb. 2 Naturräumliche Einheiten. Westberlin und Umgebung

ne Wiederherstellung des vormaligen Naturzustandes geben können. Zum anderen soll, SCHMITHÜSEN zufolge, die "naturräumliche Gliederung ... der beständigere Teil in der räumlichen Ordnung der Landschaft" sein und, besser als durch Erfassen der aktuellen Situation "die räumliche Anordnung der Nutzungsmöglichkeiten" erkennen lassen. Die Nutzungsmöglichkeiten in einer Stadt sind jedoch ohne Einbeziehung des bereits durch den Menschen nachhaltig Veränderten schwerlich richtig einzuschätzen.

Eine auch im Stadtbereich sinnvolle Raumgliederung darf somit nicht mit dem klassischen Naturbegriff operieren. Das heißt nicht, daß das natürliche Element als für die stadträumliche Ordnung unbedeutend anzusehen ist. Die Arbeiten der Wiener Klimatologenschule haben mehrfach gezeigt, wie sich die Einflüsse des Makroreliefs denen der Stadtstruktur überlagern und z.T. über diese Dominanz erlangen können. Lediglich als Gliederungskriterium ist das "Natürliche" hier abzulehnen. Stattdessen dürfte es günstiger sein, den S t a n d o r t (im ökologischen Sinne) zur Bestimmung der Grundeinheiten zu verwenden. In ihm ist auch das natürliche Element voll enthalten. Die raumtypische Vergesellschaftung der Grundeinheiten (Biotope, Ökotope) kann dann der Definition höherer Einheiten dienen.

Ein Versuch zu stadträumlicher Gliederung auf ökologischer Grundlage wird z.Zt. von RUNGE und KUNICK am Fachbereich Landschaftsbau der Technischen Universität Berlin unternommen. Die hier vorliegende Untersuchung läßt sich gleichfalls als Bestandteil einer derartigen Bemühung auffassen.

4.2 Die Lage Berlins im ozeanisch-kontinentalen Übergangsklima der Mark Brandenburg

Es ist hier nicht erforderlich, auf die verschiedenen Versuche zur quantitativen Bestimmung der Ozeanität einzugehen. Stattdessen sei auf die ausführliche Darstellung in JÄGER (1968) verwiesen, wo insbesondere auf die pflan-

zengeographischen Verhältnisse Bezug genommen wird.

An den Anfang dieses Abschnittes sei die Betrachtung des großräumigen Klimarahmens gestellt. Nordostdeutschland, dem die ehemalige Provinz Brandenburg mit Berlin zuzurechnen ist, stellt einen Abschnitt jener Tieflandzone dar, die sich über etwa 3 1/2 Tausend Kilometer breitenkreisparallel von der niederländischen Küste bis zum Ural erstreckt. Sie verläuft im Westen als ein zunächst ziemlich schmaler, nach Osten hin sich allmählich verbreiternder Saum zwischen Küste und Mittelgebirgsschwelle, um dann breit nach Osteuropa aufzufächern. Da klimawirksame Gebirgsriegel fehlen, geht das ozeanische Klima Westeuropas nahezu stetig in das kontinentale Klima Osteuropas über.

Eine Datenzusammenstellung für Stationen etwa gleicher Breitenlage läßt dies deutlich erkennen (Tabelle 6). Die Werte entstammen dem Klimadiagramm-Weltatlas von WALTER und LIETH (1967). Die Juli- und Januarmitteltemperaturen wurden durch Ausmessen der betreffenden Kurven gewonnen. Hier können daher geringe Abweichungen von den Originalwerten vorkommen, die aber nicht ins Gewicht fallen.

Die Lage Berlins in einem klimatischen Übergangsfeld ist bei allen hier dargestellten Parametern deutlich erkennbar. Besonders auffällig zeigt sich dies bei den Wintertemperaturen, welche den höchsten ozeanisch-kontinentalen Gradienten aufweisen. Dies läßt sich auf die Wirkung des warmen Golfstromes zurückführen, welcher den regionalen Ost-West-Temperaturgradienten im Sommer herabsetzt, im Winter aber verschärft (HEYER 1962). Die hiervon theoretisch unabhängige "eigentliche" Ozeanität gibt sich dagegen am deutlichsten in der Jahresamplitude der Temperatur zu erkennen. Beide Einflüsse reichen bis tief in den Kontinent hinein; doch findet sich Berlin, obgleich noch verhältnismäßig küstennah gelegen, nach dem Grade seiner Ozeanität schon etwa im mittleren Bereich der hier erfaßten Skala. Selbst in einem erweiterten Rahmen gilt Ent-

Daten zur Einordnung des Berliner Klimas nach dem Kriterium der Kontinentalität thermischen

ozeanisches Klima		Übergangsklima				kontinentales Klima		
Valentin ¹⁾ Ile d'Ouessant ²⁾ - (Lang ³⁾)		Berlin-Münster Dahlem		Warschau Vasilivitsch ⁴⁾ Kasan ⁵⁾ Malyj Usensk ⁶⁾				
Geogr. Breite (N)	51,9	48,4	52,0	52,4	51,2	52,6	55,8	50,3
Geogr. Länge	10,3(W)	5,0(W)	7,6	13,2	20,9	29,0	48,3	47,9
Höhe ü. NN (m)	-	24	51	65	57	121	140	39
men ₊	V-IX	IV-X	VI-IX	VI-IX	VI-VIII	VI-VIII	VII-VIII	VII-VIII
$\bar{t}_a$	10,7	12,0	11,3	9,1	8,4	7,6	6,2	3,3
$\bar{t}_{VII}$	10,0(VIII)	16,5(VIII)	18,9	16,9	17,8	17,4	13,0	19,6
$\bar{t}_I$	7,5(II)	7,8	3,9	1,5	-1,0	-3,3	-6,1	-13,5
$\bar{t}_{VII}-\bar{t}_I$	7,5	8,7	15,0	15,4	18,8	20,7	24,1	33,1
$\bar{R}_a$	1303	704	596	745	577	545	606	460
								298

men₊ = Monate, die während eines vieljährigen Abschnittes ohne Frost geblieben sind

$\bar{t}_a$ = vieljähriges Jahresmittel der Temperatur

$\bar{t}_{VII}$ = vieljähriges Julimittel der Temperatur

$\bar{t}_I$ = vieljähriges Januarmittel der Temperatur

$\bar{R}_a$ = vieljähriges Mittel der jährlichen Niederschlagssumme

- 1) Atlantikinsel vor der Südwestküste Irlands
- 2) Atlantikinsel im Westen der Bretagne
- 3) Nordwestfrankreich, ca. 200km von der Atlantikküste entfernt
- 4) Oberlauf des Dnjepr
- 5) mittlere Wolganiederung
- 6) untere Wolganiederung

Zur Bezeichnungsweise siehe S. 107f

sprechendes: der Berliner Wert (Dahlem) für die Thermische Kontinentalität (nach der von RINGLEB verbesserten JOHANSSON'schen Formel) beträgt gerade 50%. Das gradientstärkste Gebiet des ozeanisch-kontinentalen Übergangsfeldes ist somit westlich von Berlin zu suchen.

Von Interesse ist auch ein Vergleich der frostfreien Zeiten. Allerdings muß gerade hier besonders darauf geachtet werden, daß durch die Auswahl der Stationen tatsächlich allgemeinere Züge der west-östlichen Tendenz zum Ausdruck gelangen. Die Diagramme, zumal in der sehr groben monatlichen Differenzierung, ließen auch innerhalb eines engen Gebietes recht erhebliche Unterschiede erkennen. Daneben ist die zeitliche Schwankung der betreffenden Daten HEYER (1962) zufolge so groß, daß die Aussagekraft der Mittelwerte erheblich eingeschränkt wird. Es muß also vermieden werden, aus den betr. Angaben zu weitgehende Schlüsse zu ziehen. Immerhin kann für den gesamten Bereich als typisch gelten, daß die Monate Juli und August ohne Hüttenfrost bleiben. Im mittleren Gebiet tritt der Juni, im küstennahen Gebiet auch der September hinzu. Auf den Atlantikinseln bleiben sogar 5 bis 7 Monate des Jahres frostfrei.

Die relative Lage der frostfreien Periode läßt sich allein mit diesem Material nicht analysieren. Eine Phasenverschiebung in Bezug auf das Sommersolstitium ist sowohl bei kontinentalen als auch bei ozeanischen Stationen feststellbar.

Die in Tabelle 7 enthaltenen Daten geben einen Anhaltspunkt bezüglich der jeweils für die Vegetationsentfaltung zur Verfügung stehenden Zeitspanne (aus FRANKEN 1961; Angaben für Berlin ergänzt). Für beide Schwellenwerte erweist sich der Bereich des Übergangsklimas als begünstigt gegenüber Lagen des ausgeprägt kontinentalen wie auch ozeanischen Klimas.

Innerhalb des norddeutschen Raumes gehört das Untersu-

Tabelle 7 Mittlere Dauer der jährlichen Wärmeperiode
auf Grund zweier Temperaturschwellenwerte
(nach FRANKEN 1961)

Schwelle	Husum	Braun- schweig	Berlin- Dahlem	Görlitz	Kiew
5°C	217	229	223	221	200
10°C	149	163	164	160	154

(Werte = Anzahl der zusammenhängenden
Tage mit Temperaturmittelwerten über
Schwellenwert)

chungsgebiet Überwiegend der Klimaprovinz "Ostdeutsches Binnenlandklima" und zwar der Untereinheit "Rhin- und Havelländische Niederungen" an (KLIMA-ATLAS 1953). Nur Ostberlin hat an seinem Nordrand Anteil am "Meklenburgisch-Brandenburgischen Übergangsklima". Diesem werden etwas niedrigere Durchschnittswerte der Lufttemperatur zugeschrieben als dem Erstgenannten; doch würde das Temperaturklima allein kaum für die räumliche Differenzierung ausgereicht haben (Tabelle 8).

Überhaupt ist es der Nachteil derartiger nach landschaftlichen Kriterien vorgenommenen Klassifikationen, daß es hierin zwangsläufig zu ungleichmäßiger Abstufung der einzelnen Klimaelemente kommt. Die von HEYER (1962) daher stattdessen verwendete Klassifikation auf Grund von Schwellenwerten des Niederschlages und der Temperatur vermag noch weniger zu befriedigen. Die Karte ist in der publizierten Form wenig übersichtlich. Auch hängt die Abgrenzung der so ermittelten Klimatypen von der Wahl der Schwellenwerte bzw. den Skalenintervallen für beide Parameter ab.

Tabelle 8 Thermische Parameter der für Berlin
relevanten Klimaprovinzen
(aus: KLIMA-ATLAS DDR 1953)

Provinz	Mecklenburgisch- Brandenburgisches Übergangsklima	Ostdeutsches Binnenlandklima
U.Prov.	Barnim	Rhin- und Havel- ländische Niederungen
Seehöhe	0 - 100	0 - 100
Durchschnitt- liches Monatsmit- Jan: -1,5 bis 0,5 tel der Lufttempe- Juli: 17,0 bis 18,5 ratur (°C)		-1,0 bis 0,5 17,0 bis 19,0
Mittlere Jahres- schwankung der Lufttemperatur (Grd)	18,5 bis 19,0	18,0 bis 19,0
Mittlere Dauer (Tage)eines Ta- gesmittels der Lufttempe- ratur von min- destens: 5°C: 215 bis 225 10°C: 155 bis 160		215 bis 235 155 bis 165
Thermische Kontinentalität (nach RINGLEB) (%)	46 bis 48	44 bis 50

In Form von Klimakarten ist die Umgebung Berlins nur relativ kleinmaßstäbig erfaßt. Der KLIMA-ATLAS (1953) stellt alle Klimatelemente im Maßstab 1 : 1 Million dar. HEYER (1962), der ebenfalls eine größere Zahl von Elementen in Kartenform wiedergibt, bleibt noch unter diesem Maßstab. Wenigstens was die Temperaturgrößen betrifft sind die Karten aus dem KLIMA-ATLAS auch deshalb vorzuziehen, weil sie besser als die HEYERs die landschaftlichen Gegebenheiten (Böden, Oberflächengestalt) bei der Ziehung der Isarithmen berücksichtigen. Dies erscheint gerade angesichts der mangelhaften Stationsdichte und -verteilung im Gebiet, auf die HENDL (1969) hingewiesen hat, von größter Bedeutung.

Nach HENDL (1969) sind die Platten und Niederungen des Havel-Spree-Raumes, also der näheren Umgebung Berlins, zu allen Jahreszeiten wärmer als die im Norden und Süden anschließenden Moränenzüge (Baltischer Höhenrücken und Flämingzug). Auch glaubt HENDL innerhalb des zentralen Gebietes noch zwischen Platten und Niederungen thermisch differenzieren zu können. Bei dieser Einschätzung stützt er sich aber offenbar ganz auf die Station Potsdam, deren Repräsentativität für die Temperaturverhältnisse der "zentralen Moränen- und Sanderplatten" jedoch zweifelhaft erscheint (BRANIŃSKI 1963; s.a. S. dieser Arbeit). Keinesfalls läßt sich aus Tabelle 8 die von HENDL konstatierte "bemerkenswerte thermische Begünstigung der Platten " ersehen.

Thermisch benachteiligt sind allerdings die Niederungen hinsichtlich ihrer Frostdaten. Wenigstens gilt dies für Moorbodenflächen, wie sie in großer Ausdehnung im Westen und Nordwesten Berlins (Luchland) angetroffen werden. Die Frostgefährdung erstreckt sich hier bis weit in die warme Jahreszeit hinein. Vergleichbare Verhältnisse finden sich im Bereich der zentralen Platten nur kleinflächig (Mulden mit größerem Kaltlufteinzugsgebiet).

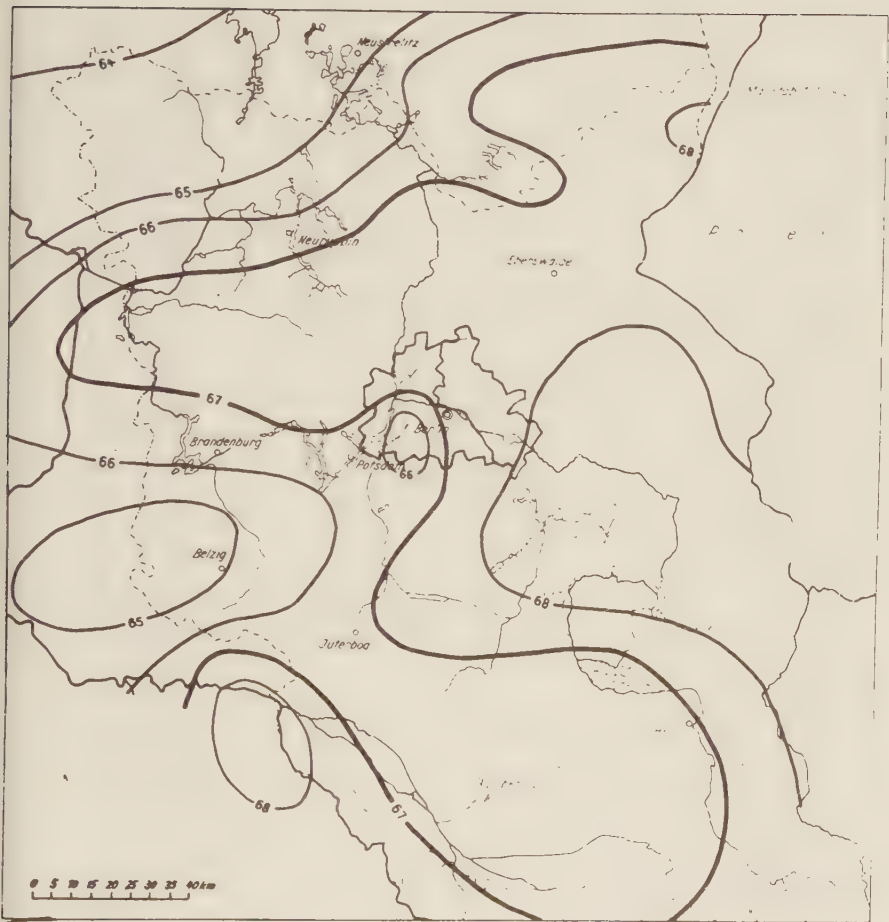
Die Luche sind ferner durch relativ hohe Werte der thermischen Kontinentalität gekennzeichnet. Auch nach der

sogenannten Jahresgangzahl (SCHULZE, A. 1956), worin alle Monate des Jahres berücksichtigt sind, erweist sich das Luchland als westlicher Vorposten eines kontinentaleren Klimas (Abb. 3). Das Vorkommen östlicher Florenelemente in diesem Gebiet (KRAUSE 1952) dürfte auch unter diesem Aspekt von Interesse sein.

Die thermoklimatische Spezifität des Luchlandes ist weitgehend edaphisch bedingt, wird jedoch durch die jahreszeitlichen Windverhältnisse modifiziert. Letztere zeigen die größte Beständigkeit zu den extremen Jahreszeiten, "in denen gleichzeitig nach der Windrichtungsverteilung der stärkste ozeanische Einschlag in Klima des Havel-Spree-Raumes zu erwarten ist. Die relativ stärkste Einflußnahme kontinentaler Faktoren hingegen findet sich in den Übergangsjahreszeiten, die gleichzeitig durch die unbeständigsten Strömungsverhältnisse gekennzeichnet sind" (HENDL 1969).

Das Strahlungsklima der Berliner Umgebung, soweit dieses nicht ständig oder häufig unter dem Einfluß der städtischen Dunstglocke steht, läßt sich weitgehend den Daten der Station Potsdam entnehmen (Tabelle 9). Die Koordinaten der Station lauten $52^{\circ}23'N$ und $13^{\circ}04'E$. Die gleiche Station sei hier auch als repräsentativ für Bewölkung und Sonnenschein angesehen (Tabelle 10).

Auf die Niederschlagsverhältnisse im Havel-Spree-Raum soll hier nicht weiter eingegangen werden, obgleich die betreffende Verteilung am besten mit der Oberflächen-gestalt des Landes korreliert ist (HENDL 1969). Auch im Stadtgebiet von Berlin liegt eine charakteristische Niederschlagsverteilung vor, deren hauptsächliche Züge SCHLAACK (1972) jedoch aus der Verteilung der Waldflächen im Gebiet herzuleiten sucht. Ein Einfluß der Niederschlagsverteilung auf den Wärmehaushalt der jeweiligen Stadtteile ist nicht ausgeschlossen. Er wird aber sicherlich geringfügig sein, verglichen mit dem Einfluß der unterschiedlichen Abflußverhältnisse im Stadtgebiet.



Temperatur: Relative Jahresgangzahlen (1901—1950).

Abb. 3
(aus HEYER 1962)

Tabelle 2

Strahlungsklimatische Daten für Horizontalflächen im Havel-Spree-Raum
(Werte in Watt/m², umgerechnet aus HENDL 1969)

Bezugsstation: Potsdam - Observatorium. Meßgerät: Pyranometer Moll-Gorczynski.
Periode: Januar 1937 bis Juni 1942

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Jahr
$Q_G^!$	52	101	169	259	313	443	327	267	192	117	62	46	
Q_G	30	51	97	149	199	231	210	168	127	59	33	20	114
Q_G^*	12	18	27	42	52	57	49	35	29	20	15	11	
$Q_S^!$	32	76	135	214	262	282	272	214	146	88	42	31	
Q_S	9	17	45	71	104	128	104	83	64	19	11	5	55
$Q_H^!$	20	25	34	45	51	61	55	53	46	29	21	15	
Q_H	21	34	53	77	94	103	106	85	63	40	20	15	59

$Q_G^!$ = Globalstrahlung für Strahlungstage
 Q_G = " " alle Tage
 Q_G^* = " " bedeckte Tage
 $Q_S^!$ = direkte Sonnenstrahlung für Strahlungstage
 Q_S = " " " " alle Tage
 $Q_H^!$ = diffuse Himmelsstrahlung " Strahlungstage
 Q_H = " " " " alle Tage

Tabelle 10 Bewölkung und Sonnenscheindauer über dem Havel-Spree-Raum (aus HENDL 1969)

Bezugsstation: Potsdam-Observatorium. Periode: 1893-1952 (Bewölkung), 1916-1952 (Sonnenscheindauer). Sonnenscheindauer nach Registrierungen des Sonnenschein-autographen Campbell-Stokes in 33 m Höhe über Grund.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Jahr
N	7,4	7,3	6,5	6,3	5,9	6,0	6,2	5,9	5,6	6,5	7,4	7,6	6,5
T _h	2,6	2,0	3,5	3,0	3,5	3,0	2,6	3,3	4,4	3,2	1,5	1,7	34,6
T _t	17,5	14,6	12,0	9,5	8,0	8,0	8,5	7,1	7,1	11,3	15,4	17,2	136,2
T _b	5,4	4,3	3,1	1,5	1,1	0,5	0,6	0,5	0,8	2,4	5,3	6,4	31,9
J	1,7	2,5	4,5	5,8	7,7	7,9	7,6	6,9	6,0	3,8	1,9	1,5	4,9
J _r	21	26	38	42	49	48	47	47	47	36	22	19	40

N = Durchschnittl. Bewölkung (Skala 0-10)

T_h = " Anzahl heiterer Tage (N < 2,0)

T_t = " Anzahl trüber Tage (N > 8,0)

T_b = " Anzahl bedeckter Tage (N = 10)

J = " tägl. Sonnenscheindauer (Stunden)

J_r = Relative tägl. Sonnenscheindauer (durchschnittl. tägliche in Prozent der astronomisch möglichen)

5. Gewinnung und Kartierung phänologischer Daten

5.1 Theoretische Vorbemerkungen

5.1.1 Bemerkungen zur Bedeutung phänologischer Methoden für die Darstellung des Standortklimas

Phänologisches Arbeiten hat nicht notwendig zur Voraussetzung, daß die klimatischen Verhältnisse eines Standortes hinlänglich durch die jahresperiodische Reaktion der Pflanzen zum Ausdruck kommen. Letztere ist für sich selbst ein legitimer Gegenstand der Forschung. Seit langem steht fest, daß die pflanzliche Entwicklung nicht einfach als eine unmittelbare Reaktion auf äußere Reize verstanden werden kann, daß ihr vielmehr auch eine innere Rhythmik zugrunde liegt (BÜNNING 1955). Das ist der eine Grund, weshalb zwischen Pflanzenreaktion und Witterung kein funktioneller Zusammenhang zu ermitteln ist (BERG 1952). Der andere Grund dürfte in der Komplexität zu suchen sein, mit der die Witterungsfaktoren in die Funktionen der Pflanze eingreifen (SEYFERT 1966). Wenngleich dieser Umstand die Prognose eines phänologischen Termins im Einzelfall erschwert, so erlaubt doch die gebietsweise Verteilung der betr. Daten, wie die Arbeiten von ELLENBERG (1954), KREEB (1954) und SCHREIBER (1968, 1968a, 1968b) zeigen, Rückschlüsse auf die relativen Wärmeverhältnisse im Untersuchungsgebiet. An der Tatsache besteht kaum ein Zweifel. Allerdings deuten Erscheinungen wie die landschaftsweise unterschiedliche Aufeinanderfolge (Interzeption) zeitlich benachbarter Phasen (KÖPPEN 1927, SEYFERT 1966) auf eine gewisse Betsimmungsunsicherheit auch bezüglich der relativen thermischen Gunst. Wohl kann man in Gebieten mit starkem Relief die eng an Höhenlage und Exposition angelehnten phänologischen Zonen als Wärmestufen interpretieren, da das höhen- und expositionsabhängige Verhalten des Temperaturfaktors sinnfällig und allgemein bekannt ist. Die phänologisch hier zweifellos auch relevante Niederschlagsverteilung wird - u.a. auf dem Umweg über die Bodentempera-

turen - den betr. Effekt im allgemeinen noch verstärken. In andersartigem Gelände, insbesondere bei nur schwacher Reliefenergie, kann erst die mit einer Streuungsanalyse einhergehende Korrelationsberechnung darüber belehren, inwieweit die Verteilung des phänologischen Parameters als Temperaturverteilung interpretiert werden kann. Hierzu findet sich Näheres im Abschnitt 7 ausgeführt.

Daß für standortsbezogene Untersuchungen die Daten des amtlichen phänologischen Netzes nicht verwendet werden können, folgt bereits aus der Tatsache, daß diese meist in Karten des Maßstabes 1 : 1 Million vorliegen. Der Aufwand für ein phänologisches Sondernetz ist nicht so groß, wie für die Errichtung eines klimatologischen Sondernetzes gleicher Effektivität. Es kommt hinzu, daß bei Beschränkung auf Aussagen über die relativen Wärmeverhältnisse mesoklimatisch aussagefähige phänologische Karten bereits nach einer Vegetationsperiode zu erhalten sind (KREEB 1954). Die phänologische Aufnahme wird daher stets dort Bedeutung für die klimatische Standortuntersuchung erlangen, wo sich geeignete Testpflanzen in günstiger Verteilung auffinden lassen.

5.1.2 Bemerkungen zur Terminologie

Läßt man die phänometrischen Arbeitsweisen einmal beiseite, so handelt es sich bei pflanzenphänologischen Untersuchungen um die Erfassung jahresperiodisch wiederkehrender Wachstumserscheinungen und zwar meist um solche, die sich durch eine deutliche, relativ rasch eintretende Aspektveränderung auszeichnen, wie sie sich insbesondere bei allen Entfaltungsvorgängen beobachten läßt.

Zunächst interessiert die Zustandsfolge des einzelnen Organes bzw. der jeweiligen Beobachtungseinheit innerhalb eines in sich qualitativ einheitlichen Vorganges. Man wird hieraus meist nur einen besonders markanten Zustand auswählen, welcher hier als Leitstadium be-

zeichnet sei. So definiert man z.B. als ein Leitstadium des Aufblühvorganges denjenigen Zustand, bei dem das Innere der Blüte gerade zu 50% sichtbar geworden ist (WEGER, HERBST und RUDLOFF 1940). Als aufgeblüht gilt ein Blühor- gan dann, wenn es das Leitstadium erreicht oder überschrit- ten hat.

Für die Bestimmung einer phänologischen P h a s e wird immer die Feststellung eines durchschnittlichen Zustandes gefordert, und zwar auf Grund "einer nicht zu geringen Anzahl von Einzelpflanzen" (SCHNELLE 1955). Bei großmaß- stäbigen Untersuchungen wird man aber auch die jeweilige phänologische Phase vielblütiger Einzelpflanzen bestimmen (KREEB 1954a) oder gar speziell exponierter Teile dersel- ben, z.B. von Kronenbereichen. Eine phänologische Phase (auch phänologischer Zustand, Wachstumsstufe, Entwicklungs- stufe etc. genannt) wird mittels des relativen Anteils von Beobachtungseinheiten definiert, welche das betr. Leitsta- dium erreicht oder überschritten haben. So lautet die Defi- nition für die Phase Vollblüte ('ab'): "Etwa drei Viertel der vorhandenen Blüten sind geöffnet und geben Blütenstaub ab" (SEYFERT 1953). Weniger genau läßt sich der betr. An- teil der Definition der Phase Erste Blüten ('b') entneh- men: "An verschiedenen normalen Standorten sind die ersten Blüten vollständig geöffnet ...". Zu den in vorliegender Untersuchung benutzten Phasen siehe Abschnitt 5.2.2.

Der Begriff Phänologisches S p e k t r u m (ELLENBERG 1954) ist nur im Zusammenhang mit einer bestimmten Form der phänologischen Geländearbeit verwendbar. Der Name deu- tet bereits an, daß hierbei eine Vielzahl von Pflanzen- arten Berücksichtigung finden. Näheres hierzu siehe im folgenden Abschnitt. Die von ELLENBERG synonym verwendete Bezeichnung Phänologische Z u s t a n d s s t u f e gibt zu Verwechslungen Anlaß, da sie grundsätzlich auch in Bezug auf Beobachtungen an nur einer Pflanzenart sinn- voll und teilweise auch in Gebrauch ist. Für die Kartie- rung von Spektren sollte diese Bezeichnung besser nicht weiter verwendet werden.

Auf eine weitere terminologische Schwierigkeit ist hinzuweisen. Gemeinhin werden die Isarithmen einer phänologischen Karte als *I s o p h a n e n* bezeichnet, gleichgültig, ob die Karte nach pflanzlichen Entwicklungsstufen oder nach Zeitstufen differenziert. Im letzteren Falle müßte konsequenterweise von *I s o c h r o n e n* gesprochen werden. Präziser noch wäre der genannte Sachverhalt durch den Ausdruck *P h ä n o - I s o c h r o n e n* zu kennzeichnen. Dagegen sollte man möglichst nicht von "phänologischen Isochronen" sprechen, da sich der Terminus "phänologisch" auf die Wissenschaft als Ganze, nicht auf die Sache selbst, also das Entwicklungsgeschehen in der Zeit bezieht.

Dies wird noch deutlicher, versucht man den Inhalt phänologischer Karten begrifflich zu kennzeichnen. Am ehesten mag noch von "phänologischen Daten" gesprochen werden; dagegen ist eine "phänologische Verteilung" ein sprachliches Unding. Es läge nahe, in Analogie zu dem Begriffspaar "klimatologisch/klimatisch", von einer *p h ä n i s c h e n* Verteilung, auch wohl besser von phänischen Daten zu sprechen; allerdings erscheint es mir fraglich, ob ein solcher Vorschlag Aussicht hätte, sich gegen eingebürgerten Gebrauch durchzusetzen. In dem speziellen Fall der heterochronen Kartierung (Darstellung in Form von Isochronen auf der Grundlage von Zeitdaten) läßt sich indessen sinnvoll von *p h ä n o c h r o n i s c h e n* Daten und Verteilungen sprechen, welcher Terminus im folgenden in der genannten Bedeutung Anwendung findet.

5.1.3 Bemerkungen zur Aufnahmemethodik

KREEB (1954, 2. Teil) unterscheidet drei phänologische Kartierungsweisen.

Bei der insbesondere für weitmaschige Netze gebräuchlichen *h o m o c h r o n e n* Beobachtungsart arbeiten zahlreiche Beobachter über längere Zeit (und somit auch gleichzeitig) an vielen Punkten. FRANKEN (1955) hat in seiner o.a. Arbeit dieselbe Methode auf ein wesentlich kleineres Gebiet anzuwenden versucht. Aus den Daten

eines homochron zusammengebrachten Beobachtungsmaterials lassen sich sowohl zeitgleiche als auch zeitlich differenzierende Karten gewinnen. Während die ersteren nach aufeinanderfolgenden phänologischen Zuständen differenzieren, stellen letztere eine konkrete Einzelphase in ihren gebietsweise unterschiedlichen Eintrittsterminen dar.

Von einer *s y n c h r o n e n* Beobachtungsart sollte nach KREEB nur dann gesprochen werden, wenn der Beobachtungszeitraum so begrenzt ist, daß die kartenmäßige Darstellung ebenfalls nur synchron sein kann. Das von ELLENBERG (1954) entwickelte, nachstehend erörterte Verfahren, aber auch kleinräumige Untersuchungen, wie sie KREEB (1954) publizierte, sind hier als Beispiele zu nennen.

Für ein süddeutsches Kartierungsgebiet (etwa 580 qkm - in der Größenordnung gut mit Westberlin vergleichbar) entwickelte KREEB ein Verfahren, bei dem ein Beobachter zu verschiedenen Zeiten an verschiedenen Stellen beobachtet und das er entsprechend als *h e t e r o c h r o n* bezeichnete.

Wenngleich die erste der drei Methoden bereits im Gebiet einer Großstadt erprobt worden ist, so kann die hierbei gefundene Lösung nicht als voll befriedigend gelten. FRANKEN (1955) ließ im Raum Hamburg durch per Aufruf in einer Tageszeitung gewonnene freiwillige Mitarbeiter den Blühbeginn der Forsythie melden. Die Zahl von 270 eingegangenen verwertbaren Daten für ein Gebiet von etwa 750 qkm ermöglichte jedoch nur eine relativ grobe Untergliederung in phänologisch definierte Zonen, zumal die Streuung der Daten auf Grund der Beschaffungsmethode relativ groß war. Bei einer Phasenverschiebung von etwa 9 Tagen zwischen der Innenstadt und den kältesten Gebieten des Stadtrandes ließ das Material lediglich eine Abstufung von vier zu vier Tagen zu. Der Autor kommt daher zu dem Schluß, daß besser mit einer kleinen Zahl gut eingewiesener Mitarbeiter im beweglichen Einsatz zu arbeiten sei.

Auch die synchrone Methode fand bereits Anwendung im städtischen Raum. ERIKSEN (1964) kartierte auf dieser Grundlage Blattentfaltung und Laubverfärbung in Kiel. Auf einer Fläche von etwa 120 qkm wurden an 134 Meßorten die entsprechenden Daten ermittelt und in einem Maßstab von etwa 1 : 75 000 wiedergegeben. Wegen der Streubreite des Phaseneintritts benachbarter Bäume ist eine derartige Beobachtungsdichte unbedingt erforderlich; und selbst sie erlaubte im vorliegenden Falle nur eine sehr grobe Differenzierung des Untersuchungsgebietes (nur e i n e Isophane, im wesentlichen den innerstädtischen Bereich umschließend). Um das Gebiet von Westberlin auf gleiche Weise synchron zu kartieren, müßte eine viermal so große Zahl von Beobachtungspunkten (ca. 500) an einem Tage aufgenommen werden, was praktisch undurchführbar ist.

Einen ganz anderen Lösungsweg, ausgehend ebenfalls von synchroner Arbeitsweise, stellt das von ELLENBERG (1954) entwickelte Verfahren der Kartierung phänologischer Spektren dar, welches sich besonders in Gebieten mit bewegtem Relief gut bewährt hat (ELLENBERG 1956, SCHREIBER 1968 und 1968a). Es sucht den jeweiligen Entwicklungszustand der Pflanzendecke, soweit er sich vom fahrenden Kraftfahrzeug beobachten läßt, integral, d.h. an Hand einer möglichst großen Zahl artverschiedenener Pflanzen zu erfassen. Die Spektren sind zuvor auf einer Eichstrecke festzulegen, welche möglichst die volle Datenstreuung des Untersuchungsgebietes aufweist. Gegenüber der Verwendung von Testpflanzen einer einzigen Art kann bei diesem Vorgehen das streckenweise Ausfallen von Beobachtungsdaten weitgehend vermieden werden.

Ein weiterer Vorteil ist die bei relativ grober Abstufung des Entwicklungsgeschehens der einzelnen Pflanzenarten mögliche rasche Arbeitsweise, wobei sich dennoch, durch gleichzeitige Verwendung mehrerer Arten, eine hinreichende Genauigkeit erzielen läßt. Wird die Aufnahme einige Tage später wiederholt, so besteht die Möglichkeit, die Fahrtroute zu variieren und dadurch eine weite-

re Verdichtung des Beobachtungsnetzes zu erreichen. Nach ELLENBERG "stimmen die späteren Kartierungen selbst bei 8 bis 14 Tagen Zwischenzeit an den Kontaktstellen gut überein", sofern sich die Witterung nicht wesentlich ändert. Damit stellt dieses Verfahren einen Übergang zur heterochronen Aufnahmemethodik dar.

Ein Nachteil des Verfahrens besteht darin, "daß die Zahl der Stufen und damit ihre Grenzen von der zuerst getroffenen Definition der Spektren abhängen" (ELLENBERG 1954). Dies wird überall dort nicht ins Gewicht fallen, wo bei der Definition der Spektren oder bei der späteren Bearbeitung an andere mit den phänologischen Daten korrelierte Gegebenheiten angeknüpft werden kann, etwa an eine typische Abfolge landbaulicher Nutzungen (SCHREIBER 1968). Die so erzielbare objektive Grenzziehung braucht keineswegs zu einer, hinsichtlich der die Pflanzenentwicklung beeinflussenden Parameter linearen Stufenfolge zu führen. So verzeichnet SCHREIBER (1968b) im Schweizer Kanton Waadt für das Höhenintervall von 500 bis 800 m über NN nicht weniger als 6 sog. "Wärmestufen", während die übrigen 9 Stufen das Intervall von 800 bis 2 100 m über NN aufgliedern. Die tieferen Lagen sind also um das Dreifache stärker untergliedert als die höheren. Dies entspricht offenbar dem Bedürfnis einer feineren Abstufung im Bereich des landbaulich am meisten begünstigten unteren Talbereiches und der Seeufer und hat nichts mit einer prinzipiell denkbaren Gleichteilung des durchschnittlichen vertikalen Temperaturgradienten zu tun.

Im Stadt-Umland-Bereich ist an eine Definition phänologischer Spektren in Anlehnung an typische Bebauungsweisen der städtischen Teilräume zu denken. Für das Untersuchungsgebiet liegt jedoch lediglich eine ältere, nur noch partiell auf den gegenwärtigen Zustand der Stadt anwendbare geographische Gliederung vor (LOUIS 1936), die für die Parallelisierung mit phänologischen Daten ungeeignet ist. Ebensowenig lassen sich die im DEUTSCHEN

PLANUNGSATLAS, Atlas von Berlin (1962) publizierten Karten hierfür heranziehen.

Auch die Möglichkeit, Verteilungen der phänologisch wirksamen Klimaparameter selbst bei der Definition der Spektren heranzuziehen, war nicht gegeben, da das Netz der Westberliner Klimastationen hierfür nicht dicht genug ist und zudem die Stadtrandzone einseitig bevorzugt.

Es bleibt somit nur die Möglichkeit, eine mehr oder weniger subjektive Abstufung des phänologischen Zustandes vorzunehmen. Hiernach läßt sich beim Vergleich zweier phänologisch verschiedenartiger Gebietsteile (z.B. Stadt/Freiland) aus der Isophanendichte grundsätzlich nicht auf die Verteilung gradientstarker und -schwacher Bereiche schließen.

Somit erweist sich das ELLENBERG'sche Verfahren, wenigstens in seiner originalen Anwendungsweise, als für die Kartierung stadträumlicher phänologischer Unterschiede wenig geeignet.

Gegenüber dem synchronen (ERIKSEN) und dem quasi-heterochronen Aufnahmeverfahren (ELLENBERG) besitzt das rein heterochrone zwei wesentliche Vorteile. Erstens entfällt die Notwendigkeit, das Kartierungsgebiet an einem Tage abzufahren. Zweitens lassen sich die Ergebnisse in objektiv abgegrenzten Stufen, nämlich Zeitstufen darstellen. (Prinzipiell erlaubt die heterochrone Arbeitsweise ebenso wie die homo- und synchrone die Wiedergabe der Ergebnisse auch in synchroner Form).

KREEB (1954) entwickelte die heterochrone Arbeitsweise bei der phänologischen Kartierung der Grasblüte im Gebiet südöstlich von Stuttgart. Sehen wir einmal von der Schwierigkeit ab, die phänologischen Angaben für verschiedene Grasarten aufeinander zu beziehen, so läßt sich das Vorgehen im wesentlichen wie folgt beschreiben:

1. Sukzessive Aufnahme einer Reihe definierter phänologischer Zustände im Gelände.
2. (etwa gleichzeitig) Ermittlung der genauen zeitlichen Abfolge aller für das Beobachtungsprogramm herangezogenen phänologischen Zustände durch tägliches Aufzeichnen der Entwicklung an einem Kontrollstandort.
3. Rückschluß auf das Eintrittsdatum der zu kartierenden Phase an einem beliebigen Geländepunkt (durch Addieren bzw. Subtrahieren der am Kontrollstandort ermittelten Zeitdifferenz zwischen der beim Befahren des betr. Geländepunktes angetroffenen und der zu kartierenden Phase).

Eine solche Reduktionsmethode dürfte freilich nur dann zu vertreten sein, wenn auch andere Standorte des Untersuchungsgebietes, darunter die extremen, im Beobachtungszeitraum mehrmals aufgenommen werden, so daß sich abschätzen läßt, inwieweit die am Kontrollstandort ermittelte zeitliche Abfolge der Phasen als allgemeingültig angesehen werden kann oder welche Korrekturen anzubringen sind. Noch besser ist es, generell eine zweimalige Befahrung vorzusehen, wobei natürlich diejenigen Beobachtungsstellen ausgenommen werden können, an denen bei der ersten Befahrung die Kartierungsphase selbst oder ein zeitlich sehr nahe benachbarter Zustand angetroffen wurde.

Von erheblicher Bedeutung für Bearbeitung und Interpretation der Daten bei heterochroner Aufnahme ist der Witterungsablauf im Beobachtungszeitraum. Man kann davon ausgehen, daß bei der relativ geringen Größe des Untersuchungsgebietes, gleichzeitige Witterungsunterschiede in der Regel keine Rolle spielen werden. KREEB erwähnt, daß während seiner Aufnahme der Grasblüte 1950 "anhaltendes Hochdruckwetter" geherrscht habe. Meist wird man aber nicht so glücklich sein, das gesamte Programm bei gleichbleibender Witterung abwickeln zu können. Wenn aber im Bereich wärmebegünstigter, phänologisch früher Lagen der gleiche Entwicklungsabschnitt in eine andersartige Witterungsperiode fällt als im Bereich später Lagen, so wird die Dauer

dieses Abschnittes (Intervall zwischen zwei definierten phänologischen Zuständen) jeweils eine andere sein. Die rein standörtlichen Differenzen bezüglich des Phasenintervalls können durch die Spezifität des Witterungsablaufes vergrößert, vermindert und sogar umgekehrt werden. Im Abschnitt 5.3.5.2 ist zu ersehen, daß derartige Überlagerungseffekte (im folgenden als *I n t e r f e r e n z* bezeichnet) recht bedeutsam werden können. Sie sind methodisch nicht leicht zu erfassen und bei der Interpretation phänochronischer Karten u.U. sehr störend.

5.1.4 Auswahl der zu beobachtenden Pflanzenart und geeigneter Phasen

Nachdem die Aufnahmemethode in den Grundsätzen festgelegt war, mußte vorrangig geklärt werden, welche phänologische Phasen heranzuziehen waren. KREEB (1954, 1. Teil) betont, daß kleinräumige phänologische Karten nur dann Rückschlüsse auf das Mesoklima erlauben, wenn gleiche Arten oder Ökotypen unter gleichartigen Bedingungen beobachtet wurden. In diesem Falle seien sogar niedrige, krautige Arten für eine phänologische Kartierung verwendbar. Im einzelnen stellt der Autor folgende Bedingungen an eine Testpflanze für das Mesoklima:

1. Die Pflanzen sollen am jeweiligen Beobachtungsort zahlreich vorhanden sein, um Durchschnittsbeobachtungen zu ermöglichen
2. Die Pflanzen sollen im Beobachtungsgebiet weit verbreitet sein
3. Die Pflanzen sollen möglichst wenig auf andere Standortfaktoren als die Temperatur reagieren
4. Das Blühstadium darf nur einmal im Vegetationsjahr vorhanden sein; mindestens sollte aber eine deutliche Erstblüte auftreten
5. Die Pflanzen dürfen keine rhythmischen Schließbewegungen der Blüten zeigen

Die Forderungen erscheinen größtenteils plausibel; doch empfiehlt es sich zuweilen, die an erster Stelle genannte zugunsten eines engeren Netzes von Beobachtungsstellen fallen zu lassen, sofern die zweite Forderung erfüllt ist. KREEB gesteht im Übrigen eine Beobachtung an Hand von Einzelindividuen in den Fällen zu, wo diese vielblütig sind und insofern die Angabe von Durchschnittswerten erlauben.

Eine von KREEB nicht extra erwähnte Bedingung sei hier noch nachgetragen: Die Testpflanze muß leicht identifizierbar sein, d.h. sich leicht von ähnlichen aber ökologisch verschiedenen Arten, Kleinarten etc. unterscheiden lassen (6. Bedingung). Dieser Gesichtspunkt ist besonders dort von Wichtigkeit, wo es darauf ankommt, in kurzer Zeit Daten von möglichst vielen Beobachtungspunkten aufzunehmen.

Für die hier zur Anwendung kommende, im vorigen Abschnitt begründete Methode der heterochronen Aufnahme eines bestimmten Entwicklungsganges sind zudem zwei weitere Anforderungen zu machen. Da aus Zeitgründen ein messendes Verfolgen des betr. Geschehens nicht in Frage kommt, und da Durchschnittsbeobachtungen mehrerer Pflanzen gerade bei Bäumen wenig angezeigt sind, läßt sich ein heterochrones Verfahren nur in der Weise durchführen, daß man den jeweiligen Anteil an gleichexponierten Beobachtungseinheiten (Blattknospen, Triebe, Blüten etc.) je Pflanze ermittelt, der einen definierten Entwicklungszustand erreicht oder überschritten hat. Die Zahl derartiger Einheiten muß also genügend groß sein, so daß sich relative Angaben (z.B. in Prozent) vertreten lassen (7. Bedingung). Hierfür ist des weiteren eine ausreichend große zeitliche Streuung des gewählten charakteristischen Vorganges (z.B. Blattentfaltung, Aufblühen etc.) bezogen auf die einzelne Testpflanze zu verlangen (8. Bedingung).

Inwieweit die oben unter Punkt 3 genannte Forderung erfüllt ist, wird sich von vornherein nicht entscheiden las-

sen. Solange für eine normal besonnte Pflanze noch Wasser verfügbar ist und sich keine lebenswichtigen Stoffe im Minimum befinden, wird die Entwicklungsgeschwindigkeit der Pflanze bei Wachstums- und Entfaltungsvorgängen weitestgehend von den thermischen Bedingungen abhängen (SCHNELLE 1955, THРАН 1962). Freilich ist damit nicht gesagt, daß die Entwicklung der Testpflanze mit einer der im Klimadienst gemessenen Temperaturgrößen hinreichend genau parallel geht. Zur Temperatur des Pflanzenkörpers tragen eine Reihe von Außenbedingungen bei, neben der Lufttemperatur z.B. auch Erdbodentemperatur, Globalstrahlung, Windstärke und Niederschläge. Durch die physikalischen und biologischen Eigenschaften der Pflanze können sie darüberhinaus in spezifischer Weise modifiziert werden; so etwa durch Albedo und Temperaturleitungseigenschaften der oberirdischen Pflanzenteile, durch die Stomataregulation sowie durch den Transpirationswiderstand der Cuticula. Mit welcher Klimagröße die zu beobachtende Entwicklung am besten korreliert, hängt somit entscheidend von der Wahl der Testpflanze ab.

Werden Pflanzen der Krautschicht beobachtet, so ist zu berücksichtigen, daß ihr Wasserhaushalt, die Tiefwurzler ausgenommen, oftmals in den kritischen Bereich gerät. Infolgedessen kann gerade während warmer Witterungsperioden die Pflanzenentwicklung verlangsamt sein (GRÜNHAGEN 1963). Bei ausreichender Wasserversorgung geht sie am besten mit den besonders im zeitigen Frühjahr rasch ansteigenden Temperaturen der Bodenoberfläche und der obersten Bodenschicht parallel. Hingegen wird man eine engere Beziehung zwischen Pflanzenentwicklung und Lufttemperatur am ehesten bei Pflanzen der Baum- und höheren Strauchschicht erwarten dürfen.

Im Einzelfall bedarf dieser Zusammenhang aber auch bei Bäumen einer speziellen Prüfung, zumal bei Straßenbäumen in Städten, welche oftmals unter Wassermangel leiden. RUGE (1968) gibt an, "daß in den Großstädten, bedingt durch die verschiedensten Baumaßnahmen, der Grundwasserstand auf 4 Meter, oft (U-Bahnen) jedoch sehr viel stärker

ker abgesenkt wurde. Zum Grundwasser können also lediglich Tiefwurzler (Platanen) vorstoßen, nicht jedoch Flachwurzler wie Linde, Kastanie, die das Stadtklima offenbar auch viel schlechter ertragen". Andererseits überrascht die Festsstellung, "daß das Erdreich unter den Straßen niemals trocken ist" (DUHME 1969), auch dort, wo weder kapillar aufgestiegenes Grundwasser noch eingedrungenes Oberflächenwasser die Ursache sein können. Anscheinend handelt es sich hierbei um Wassertransport im gasförmigen Zustand (Diffusion) und anschließende Kondensation (HOFFMANN, A. 1954).

Gemäß den genannten Erwägungen kommen in erster Linie Bäume oder höhere Sträucher als Testpflanzen in Betracht. Der sehr hohe Anteil der Linden an den Straßenbäumen Westberlins - am 1.4.1959 betrug dieser 44% (KÜHN 1961) - war zunächst der Anlaß, die betr. Arten einer Prüfung zu unterziehen, ungeachtet der erwähnten Nachteile im Bau des Wurzelsystems.

Die in Berlin am häufigsten als Straßenbaum angebaute Holländische Linde, *Tilia x europaea* BECHST., erwies sich als für die phänologische Kartierung ungeeignet, da das Pflanzenmaterial genetisch nicht einheitlich ist. Formen, die in der früheren Literatur beschrieben worden sind, konnte KÜHN (1961) in Berlin nicht identifizieren. Auch die von ihm selbst gegebenen Anhaltspunkte zur Unterscheidung zweier Hauptformen waren nur selten rein anzutreffen.

Die Elternarten von *Tilia x europaea* hingegen, *T. cordata* MILL. und *Tilia platyphyllos* SCOP., lassen sich wegen ihrer ungleichmäßigen Verteilung im Stadtgebiet nicht als Grundlage einer phänologischen Kartierung verwenden. Insbesondere fehlt die letztere fast ganz im Stadttinnern.

Die Silberlinde, *Tilia tomentosa* MOENCH, ist in einigen insbesondere auch innerstädtischen Bezirken zwar recht verbreitet; aber auch sie zeigt eine wenig gleichmäßige Verteilung im Gesamtgebiet.

Schließlich fand sich in der Krimlinde, *Tilia x euchlora* KOCH eine geradezu ideale Testpflanze. Die Art, die man meist als Bastard zwischen *Tilia cordata* MILL. und *Tilia dasystyla* STEV. angegeben findet, läßt im Gebiet von Westberlin keinerlei Variabilität in wesentlichen Merkmalen erkennen. In den Baumschulen wird die Art vegetativ vermehrt. (Eine *T. euchlora* ähnliche Mischform findet sich stellenweise im Bezirk Wedding angepflanzt). Von anderen Arten ist *T. euchlora* selbst aus größerer Entfernung bei einiger Übung leicht zu unterscheiden.

Sehr charakteristisch ist die Form der Krone: Die Seitenäste erster Ordnung sind auffallend stark, fast abknickend erdwärts gekrümmt (Abb. 4). Daher bleiben die Kronen selbst im Freistand schmal, was neben der ausgesprochenen Stadthärte dieser Art wohl der Hauptgrund für ihre Verbreitung als Straßenbaum sein dürfte (Abb. 5).



Abb. 4

Tilia euchlora, Kronenform
(Berlin 45, Ringstraße)



Abb. 5

Tilia euchlora, typische
Straßenbepflanzung
(Berlin 41, Leydenallee)

Durch Schnitt wird diese Eigenart noch unterstützt. Un-
sachlich durchgeführt (Auslichtung) kann er aber auch zu
völliger Verunstaltung der Krone führen. (Abb. 6). Es
scheint, als würde gerade die relative Schmalkronigkeit
von *T. euchlora* dazu verführen, die Bäume noch dichter
als sonst üblich an Häuserfronten zu pflanzen. Dadurch
wird, zumindest partiell, das Kronen-Mikroklima verän-
dert, und es kann bei kritischer Wasserversorgung leicht
zu Blattschädigungen kommen, dies wiederum besonders bei
zu stark ausgelichteten Kronen. Daß derart geschädigte
und in ihrem Mikroklima verfälschte Baumindividuen für
die phänologische Aufnahme nicht in Frage kommen, ver-
steht sich am Rande.

Ein weiteres gutes, wenngleich oft durch Schnitt getilg-
tes Merkmal stellen die lang, fast peitschenartig herab-
hängenden Seitenäste 2. Ordnung dar (Abb. 7). Straßenbäu-
me müssen daher hin und wieder aufgeästet werden, wodurch
die Kronen einen langovalen bis fast kugligen Umriß er-
halten. Ohne Schnitt aufgewachsene Bäume zeigen demgegen-
über fast linealische, bis zum Boden geschlossene Kronen.

Der Stamm ist silbergrau berindet, relativ dick und säu-
lenartig gerade geschäftet. Die Edelreiser sind zumeist
auf den Wurzelhals der Unterlage gesetzt. Dabei bilden
die Bäume oftmals einen breiten Veredelungswulst am
Stammgrund (Abb. 8).

Das Laub ist oberseits glänzend dunkelgrün. Die Blatt-
zähne laufen in Grannenspitzen aus.

Auffallend ist die lockere, sehr lang vom Hochblatt ab-
gesetzte Infloreszenz. Deutlich dichasial aufgebaut, ent-
hält sie im typischen Fall sieben Blüten (Abb. 9), wel-
che sich nach der Reihenfolge ihrer Anlagen in drei Schü-
ben öffnen (vgl. EISENHUT 1959). Das Hochblatt ist schlank,
rautenförmig (etwa in der Mitte, nahe dem Verzweigungs-
punkt, am breitesten) und läuft nach vorn beinahe spitz
zu.



Abb. 6

Tilia euchlora, Krone durch falschen Schnitt verdorben (Berlin 31, Paretzer Str.)



Abb. 7

T. euchlora, typisches Hängen der Seitenäste 2. Ordnung bei unverschnittener Krone (Bln. 31, Fechnerstr.)

Die Art kommt von der Innenstadt bis in die Außenbezirke fast überall vor und findet sich vereinzelt sogar an Waldwegen und anderen abgelegenen Stellen angepflanzt.

Da keine andere Baumart in Berlin hinsichtlich ihrer Verteilung und raschen Erkennbarkeit an *T. euchlora* heranreicht, lag es nahe, das Untersuchungsprogramm im wesentlichen auf diese Linde abzustützen und andere Arten nur zu ergänzenden Beobachtungen in solchen Stadtgebieten mit heranzuziehen, wo *T. euchlora* nicht ausreichend vertreten ist. Dies konnte um so eher geschehen, als auch die übrigen oben ausgeführten Anforderungen an eine phänologische Testpflanze als nahezu ideal erfüllt angesehen werden können.



Abb. 8

T. euchlora, Veredlungswulst
(Berlin 45, Hyazinthenstr.)

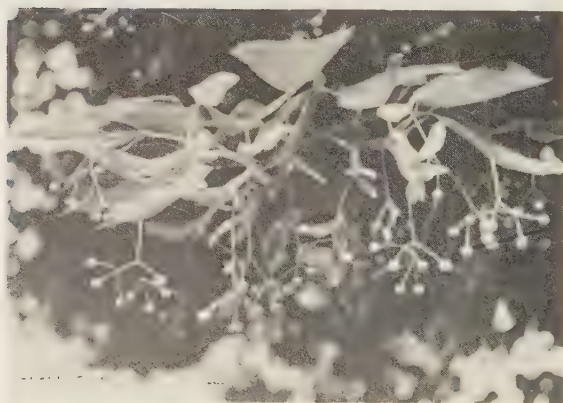


Abb. 9

T. euchlora, Infloreszenzen
(Knospenzustand)

Gegenüber der im Prinzip auch brauchbaren Blattformfaltung wurde dem Aufblühvorgang der Vorzug gegeben, da hier bessere und rascher zu realisierende Möglichkeiten zu quantitativer Differenzierung bestehen. Zudem stellt die Lindenblüte eine hochsommerliche Phase dar und integriert daher die wirksamen Klimaelemente über einen längeren Abschnitt der Vegetationsperiode hinweg, als es bei den meist benutzten Frühjahrsphasen der Fall ist. *Tilia x euchlora* ist darüberhinaus, nächst der Silberlinde, *Tilia tomentosa* MOENCH, die spätestblühende der in Berlin angepflanzten Linden. Ihr Blühbeginn fällt hier in den Monat Juli, gelegentlich, insbesondere im Stadtinneren, in die letzte Junidekade. Auch die Länge der Blühdauer ist befriedigend. Den von KÜHN (1961) veröffentlichten Phänogrammen zufolge beträgt sie im Mittel dreier Jahre (1957-1959) 20 Tage. Für *Tilia tomentosa* ergibt sich der entsprechende Wert zu 23 Tagen.

Die von EISENHUT (1959) publizierten Daten (Tab. 11) scheinen für *Tilia x euchlora* ein besonders langsames Voranschreiten des Aufblühvorganges auszuweisen. Es ist jedoch zu beachten, daß letzterer im Jahre 1956 in eine Periode mit recht kühler Witterung fiel, was die lange Blühzeit erklärt.

Die örtlichen Unterschiede in den phänologischen Terminen, zumal für die Blühphasen, sind beträchtlich und meistens gut aus der Verteilung der Temperaturen im Gebiet zu erklären.

Tilia cordata und *Tilia tomentosa* wurden gelegentlich zu ergänzenden Beobachtungen in solchen Stadtgebieten mit herangezogen, wo *Tilia x euchlora* nicht ausreichend vertreten war. Dabei hat sich die Silberlinde, obgleich schwieriger zu beobachten als die Krimlinde, als brauchbar erwiesen. Bei *Tilia cordata* trifft dies nur sehr bedingt zu. Hier wirken sich die schon erwähnten großen individuellen Unterschiede störend aus.

Tabelle 11 Andauer der Blühabschnitte in Tagen
für einige Lindenarten im Jahre 1956
(nach EISENHUT 1959)

	Aufblüh- phase	Voll- blüte	Abblüh- phase	Blüh- dauer insgesamt
<i>Tilia x europaea</i> L.	8	8	6	22
<i>T. platyphyllos</i> SCOP.	6	6	6	18
<i>T. cordata</i> MILL.	6	7	7	20
<i>T. x euchlora</i> KOCH	12	6	8	24

5.1.5 Die "zufällige" (individuelle) Streuung
phänologischer Daten von Bäumen einer Art

BAUMGARTNER (1952) zeigte am Beispiel der Rotbuche für einen in Bezug auf die Standortverhältnisse homogenen Bereich in München (Vegetationsperiode 1952), daß erster und mittlerer Termin des Beginns der Laubentfaltung ('B0') mehr als eine Woche auseinanderliegen können. Entsprechendes gibt er für die Vollbelaubung an. Die Zeit zwischen frühestem und spätestem Eintrittsdatum der betr. Phasen betrug 1952 sogar zwischen 15 und 20 Tagen. Derartige Datenstreuungen sind auch von anderen Autoren mitgeteilt worden. WELLENSIECK und DE BRUYN (zit. BÜNNING 1953) fanden ferner, daß die zeitliche Aufeinanderfolge der Knospenöffnungstermine von 42 *Fagus*-Individuen über 10 Beobachtungsjahre hinweg die gleiche blieb.

BAUMGARTNER war auf das Problem der unterschiedlichen Reaktion von Pflanzenindividuen bei der Überprüfung phänologischer Daten für das Stadtgebiet München gestoßen, die von einem per Rundschreiben rekrutierten temporären Mitarbeiterstab gemeldet worden waren. Er stellte sich die Frage, inwieweit die hier vorgefundene Datenstreuung (Tab. 12) auf unterschiedlichen stadtklimati-

schen Einfluß am jeweiligen Beobachtungsort zurückzuführen war.

Tabelle 12 Streubreite (Anzahl der Tage) der im Früh-
jahr und Frühsommer 1951 im Stadtgebiet
München gewonnenen phänologischen Daten
(aus BAUMGARTNER 1952)

Pflanze	Erste Blüte	Vollblüte	Blattentfaltung
Forsythia	31	21	24
Trauerweide	37	30	23
Stachelbeere	26	13	28
Birke	33	27	15
Roßkastanie	30	22	22
Rotbuche	27	28	12
Spitzahorn	35	22	12
Flieder	24	19	13
Robinie	21	18	23
Kirsche	16	9	14
Birne	19	21	21
Sommerlinde	26	18	16
Goldregen	23	20	14
Schw. Holunder	18	21	24
Jasmin	22	20	15
Apfel	20	21	22

Die offenbar beträchtlichen individuellen Unterschiede, wenigstens bei Fagus, rechtfertigen eine gewisse Skepsis in diesem Punkt. Allerdings fällt bei Durchsicht der tabellierten Streubreiten (gesamtes Stadtgebiet!) auf, daß die Streuung der nach den Richtlinien des amtlichen Phänologischen Dienstes gewonnenen Daten für die Phase 'Rotbuche BO' merklich geringer ist, als die Streuung, die BAUMGARTNER für die 100 von ihm untersuchten Individuen auf einheitlichem Standort ermittelte (s.o.). Man

darf daraus wohl den positiven Schluß ziehen, daß ein leidlich versierter, gut angeleiteter Beobachter imstande ist, den aus der individuellen Verschiedenheit seiner Testpflanzen herrührenden Fehler gering zu halten.

Im übrigen lassen sich die Streubreiten der Tab. 12 ohne weiteres weder im Sinne stadtklimatisch bedingten Voreilens innerstädtischer Standorte noch im Sinne individueller Schwankungen interpretieren. Die Schwierigkeit der Datierung ist nämlich für die verschiedenen Phasen des Programms durchaus unterschiedlich, besonders da viele der Testpflanzen in mehreren Sorten oder gar Arten vorkommen. Bei der nicht sehr stadtfesten *Tilia platyphyllos* SCOP. liegt die Verwechslung mit Formen der wenigstens in Berlin wegen ihrer guten Stadtverträglichkeit häufig gepflanzten *Tilia x europaea* L. nahe, die später als ihre Elternarten zur Blüte gelangt. Die für die Sommerlinde angegebene Gesamtstreuung von 26 Tagen muß daher nicht für eine besonders große individuelle Schwankungsbreite der betr. Phase sprechen, wie umgekehrt die trotz erheblicher individueller Schwankungsbreite vergleichsweise geringe Streuung der Phase 'Rotbuche BO' wohl vorwiegend darauf zurückzuführen ist, daß es sich hierbei um eine auffällige und leicht zu erfassende Phase an einer kaum züchterisch bearbeiteten einheimischen Art handelt.

Bei den in Berlin vorwiegend beobachteten Linden treten so erhebliche individuelle Unterschiede wie die von Fagus berichteten kaum auf. Lediglich bei der Winterlinde fanden sich in der Innenstadt zwei benachbarte Exemplare mit einer möglicherweise individuellen Blühphasendifferenz von 7 Tagen. Für die vorrangig als Testpflanze verwendete Krimlinde (*Tilia x euchlora* KOCH) ließen sich Differenzen von mehr als zwei Tagen bei benachbarten Individuen durchwegs aus Unterschieden des Standorts erklären. Die auf individuellen Unterschieden beruhende Streuung beträgt bei *T. euchlora*, Phase 'b' (Erste Blüten) stets weniger als 1 Tag (hier: Standardabweichung, vgl. Abschnitt 5.3.5.1). Dieses Verhalten der Testpflan-

zenart ließ es gerechtfertigt erscheinen, auf die Heranziehung mehrerer Individuen für jeden zu notierenden Beobachtungswert (Durchschnittsbeobachtung gemäß KREEB's erster Forderung) zu verzichten. Stattdessen empfahl es sich, ein möglichst dichtes Beobachtungsnetz ausgewählter Einzelbäume einzurichten, wie dies in Vorbereitung des phänologischen Programms für 1967 geschah.

5.1.6 Vermeidung und Abschätzung systematischer Fehler bei stadtphänologischen Aufnahmen

Unter systematischen Fehlern werden solche verstanden, die sich auf konkrete Ursachen zurückführen lassen und die daher ihrer Richtung nach bekannt sind. Man wird daher versuchen, ihren Betrag abzuschätzen und das Ergebnis entsprechend zu korrigieren.

In Bezug auf die Auswahl der als Testpflanzen geeigneten Arten sowie der heranzuziehenden Phasen wurde im vorigen Abschnitt das Erforderliche ausgeführt. Bedeutende Fehlerquellen können sich jedoch aus dem Beobachtungsverfahren ergeben. Dieses ist daher zuvor zu diskutieren und in den Einzelheiten festzulegen. Im wesentlichen sind folgende Punkte zu beachten:

- a) Einfluß ungleicher Verteilung der Testpflanzen im Untersuchungsgebiet
- b) Einfluß nicht-klimatischer und mikroklimatischer Standortdifferenzen
- c) Einfluß der Festlegung bestimmter Kronenbereiche für die phänologische Beobachtung
- d) Einfluß des Alters der zu beobachtenden Bäume
- e) Einfluß der Vorab-Definition zu notierender Phasen bei der Beobachtung der betr. Entwicklungsabläufe

Zu a): Nur ausnahmsweise (z.B. Beobachtung an Forstbäumen) wird man in einem größeren Untersuchungsgebiet ein gleichmäßig dichtes Netz an Testpflanzen zur Verfügung haben. In städtischen Räumen mit ihrer starken strukturellen und funktionalen Gliederung ist das ausgeschlos-

sen. BÖER (1948) verweist darauf, daß die hieraus folgende abschnittsweise unterschiedliche Verlässlichkeit phänologischer Karteninhalte bei der zumeist verwendeten räumlich ordinierenden Darstellungsweise (Isophanen) nicht zum Ausdruck kommt. Will man nicht, wie BÖER, zu einer klassifizierenden Darstellung greifen, so wird es notwendig, den Daten aus weniger gut repräsentierten Gebietsteilen, im Hinblick auf deren Darstellung in Kartenform, ein besonders hohes Maß an Kritik zukommen zu lassen. Damit ist in erster Linie eine eingehende Beurteilung der betr. Standorte gemeint. Soweit möglich sollte diese v o r Beginn des eigentlichen Untersuchungsprogramms durchgeführt werden.

Ganz beseitigen läßt sich der Verteilungsfehler grundsätzlich nicht. Um auch bei der Darstellung in Isophanenform Anhaltspunkte für die hierbei zu erwartenden Fehler zu gewinnen, empfiehlt sich eine nach Gebietsteilen differenzierende Streuungsanalyse (vgl. Abschnitt 5.3.5.1 sowie das Ende dieses Abschnitts).

Wichtig ist in diesem Zusammenhang auch die Wahl des Beobachtungsverfahrens. Durchschnittsbeobachtungen am Ort sind nur dort durchzuführen, wo die betr. Bäume ganze Straßenzüge oder Plätze einnehmen. Da jedoch in manchen Gebietsteilen die Daten überwiegend auf der Beobachtung isoliert stehender Einzelexemplare beruhen, würde das Festhalten an obiger Forderung entweder eine wesentliche Verkleinerung des phänologisch darstellbaren Gebietes oder aber einen zusätzlichen Verlust an Kontinuität bedeuten, dann nämlich, wenn nach den Gegebenheiten das eine o d e r das andere Verfahren zur Anwendung kommt. Unter diesen Umständen verzichtet man besser ganz auf Durchschnittsbeobachtungen und notiert stattdessen überall die Daten des Einzelbaumes. Dabei ist es unerlässlich, die zu beobachtenden Bäume v o r Untersuchungsbeginn genau festzulegen. Anderenfalls lassen sich die Eintrittszeiten bestimmter Phasen nicht mit genügender Genauigkeit inter- bzw. extrapolieren. Auch erlaubt die vorherige Festlegung der einzelnen Beobachtungsobjekte

später, während des unter Zeitdruck zu absolvierenden Beobachtungsprogramms, ein zügigeres Arbeiten.

Zu b): Je weitmaschiger das Netz der Beobachtungspunkte ist, umso mehr muß man bestrebt sein, die auf kleinräumigen Standortsdifferenzen beruhende Variabilität zu verringern, vor allem dadurch, daß schon bei der Auswahl der Beobachtungsobjekte eine standörtliche Vereinheitlichung vorgenommen wird. Teilweise ist eine solche Vereinheitlichung schon mit der Wahl der Testpflanzenart gegeben. Eine gewisse Homogenisierung des phänologischen Materials im Nahbereich läßt sich darüberhinaus etwa dadurch erzielen, daß man Mindestanforderungen an die Exposition der Beobachtungsobjekte zur Sonnenstrahlung oder an den Abstand derselben von stark reflektierenden Baumassen stellt.

Bei vorgegebenen Daten der Horizontüberhöhung sowie der Himmelsrichtungen, in die sich die Straßenachse erstreckt, kann man die Besonnungszeiten für verschiedene geographische Breiten und Jahreszeiten aus der Kombination von Sonnenbahndiagrammen mit speziellen Kurvenblättern entnehmen (TONNE 1954). Auf solche Weise bestimmte Werte der größtmöglichen Besonnungsdauer für den normalen Standraum der Straßenbäume sind in Tabelle 13 zusammengestellt. Die hier angenommene Horizontüberhöhung von 20° zur gegenüberliegenden Straßenseite entspricht einem Verhältnis Höhe der Randbebauung zu Straßenbreite wie 1 : 2,7 .

Es lassen sich charakteristische Unterschiede zwischen den beiden Straßenrichtungen ablesen. Die Nord-Süd-Straßen, bei denen die Straßenseite für die potentielle Besonnungsdauer keine Rolle spielt, erweisen sich als durchschnittlich begünstigt gegenüber der Nordexposition, jedoch stets benachteiligt gegenüber der Süd-Exposition der Ost-West-Straßen. Die größten auftretenden Differenzen sind die zwischen den beiden Expositionen der Ost-West-Straßen. Auch über einen längeren Jahresabschnitt hinweg erweisen sich diese Differenzen als erheblich.

Tabelle 13 Mögliche Besonnungsdauer (Stunden) der
Baumkronen in Stadtstraßen bei 52° n.Br.

Horizontabschirmung: 80° durch baumseitige,
20° durch gegenüberliegende
Häuserfront

Jahreszeit	N-S-Straßen	E-W-Straßen	
		Nordseite	Südseite
Juni ⁺)	7,2	7,7	11,0
Mai, Juli	6,7	6,5	11,1
April, August	5,8	3,2	11,3
März, September ^{x)}	4,7	0,0	12,0

+) Sommersolstitium

x) Äquinoktien

So findet man als Durchschnittswert der Monate März bis Juli incl. für die Nordseite 4,7, für die Südseite 11,3 Stunden täglicher Besonnung. Der entsprechende Wert für die Nord-Süd-Straße lautet 6,2 Stunden, ist also mehr dem der Nordexposition der Ost-West-Straßen angenähert.

Zur richtigen Einschätzung dieser Aussagen ist zu beachten, daß erstens die Verhältnisse für die wahre Besonnungsdauer gemäß dem Tagesgang der Bewölkung verändert sein können, und zweitens der Genuß an direkter Sonnenstrahlung nicht allein von der Besonnungsdauer, sondern sehr stark auch von der jeweiligen Sonnenhöhe abhängt. Für die grundsätzlichen Verhältnisse, wie sie Tab. 13 zeigt, sind hieraus jedoch keine gravierenden Änderungen abzuleiten.

Daß man Unterschiede dieser Art vernachlässigen kann, erhellt auch aus der Tatsache, daß wesentliche Abweichungen in den phänologischen Terminen von nord- und südseitiger

Baumreihe einer Straße für Phasen des Frühjahrs und Sommers in Berlin nicht nachgewiesen werden können. Dort, wo Entwicklungsunterschiede auftreten, entsprechen sie in ihrer Größenordnung etwa den für verschieden exponierte Kronenteile desselben Baumes festgestellten (s.u.). Es folgt daraus, daß die direkte Besonnung für den zeitlichen Verlauf der jährlichen Vegetationsentwicklung nicht der ausschlaggebende Faktor sein kann. In der Tat sind sowohl an der Wärme- als auch an der Lichtwirkung auf die Pflanzen noch eine Reihe weiterer Gegebenheiten beteiligt, welche insgesamt auf weitgehenden Ausgleich der betr. Verhältnisse im Straßenraum hinzielen.

Dennoch wurde in der hier zu erörternden Untersuchung ein Mindestbetrag an potentieller Besonnung für die Auswahl der zu beobachtenden Baumindividuen gefordert, so daß allzu eingeeengt stehende Exemplare ausschieden. Nur solche Bäume wurden berücksichtigt, die zur Zeit des Sommersonnenwerts auf Grund ihrer Exposition wenigstens 5 Stunden täglich direkte Sonnenstrahlung bei einem Sonnenstand von 20° oder mehr über Horizont empfangen konnten.

In unklaren Fällen wurde der Standort mittels eines Horizontoscops (TONNE 1954) geprüft, doch betraf dies in der Regel nur Bäume in Höfen oder im gegenseitigen Engstand. Einer zusätzlich gestellten Bedingung zufolge müssen die Kronen der Testbäume um die Zeit des mittäglichen Sonnenhöchststandes bis zur Beobachtungshöhe herab (s.u.) von der direkten Sonnenstrahlung erreicht werden können.

Um eine möglichst gute Korrelation zur Temperaturverteilung zu erhalten, wäre es natürlich erwünscht, insbesondere die thermisch nicht relevanten Standortunterschiede zu eliminieren, soweit sie sich auf den jährlichen Entwicklungsrhythmus der Testpflanzen auswirken. Als Störfaktoren kommen etwa unterschiedliche Wasserversorgung

und eventuell auch die Konzentration von Autoabgasen und anderen Luftverunreinigungen in Betracht. Doch ist es ausgeschlossen, diese für alle Testbäume eines Untersuchungsgebietes zu Konstanten zu machen, da ihre Beiträge zu charakteristischen Stadtzonen oder Bebauungstypen in Beziehung stehen. Unter den Bedingungen starker und vielfältiger anthropogener Einwirkung sind die phänologischen Daten, auch bei sorgfältiger Selektion, immer Ausdruck eines Wirkungskomplexes, ein den Standort kennzeichnendes Element *sui generis* (vgl. BERG 1952).

Zu c): EISENHUT (1959) konnte an einem freistehenden Exemplar von *Tilia x euchlora* das Zurückbleiben der Nord- gegenüber der Südseite und der Kronenbasis gegenüber dem Wipfel bezüglich der Blühentwicklung nachweisen, was hauptsächlich auf Unterschiede in der kurzweiligen Bestrahlung zurückzuführen sein dürfte (MÄDE 1938). Im gleichen Zeitpunkt erwies sich die Südseite (mittlerer Kronenbereich) als zu 56% , die Nordseite dagegen erst zu 35% erblüht. Auf der Südseite der Krone waren gleichzeitig die Basis zu 36% , das mittlere Niveau zu 56% und der Wipfelbereich zu 67% erblüht. Wie man Abb. 13 entnehmen kann, entspricht das einer Phasenverschiebung zwischen Nord- und Südseite von weniger und zwischen Basis und Wipfel von etwas mehr als einem Tag. Die betr. Differenzen sind mit Sicherheit noch geringer bei Bäumen im Straßenraum dicht bebauter Viertel. Durch Beobachtung stets der einander entsprechenden Kronenbereiche läßt sich der hier angedeutete Fehler ausschalten oder doch sehr klein halten.

Für die vorliegende Arbeit wurden die Aufblühprozente im sonnenseitigen Kronenbereich zwischen drei und vier Metern über der Boden- bzw. Straßenoberfläche ermittelt, seltener, bei Bäumen mit sehr hoch aufgeästeter Krone, auch etwas darüber. Bis zu diesem Abstand ist ein Abschätzen der betr. Werte noch mit unbewaffnetem Auge durchführbar. Bei Bäumen in schwer zugänglichen Grundstücken wurde ein Fernglas verwendet. Die vom Blattwerk

verdeckten oder weiter im Kroneninneren befindlichen Blühorgane blieben unberücksichtigt.

Zu d): Gelegentlich war auf die Verwendung recht junger Bäume als Testpflanzen schwer zu verzichten. Etwa 8% aller Bäume des Beobachtungsnetzes erreichten nicht die Höhe von 5 Metern. Es war daher zu untersuchen, ob diese gegenüber ausgewachsenen Exemplaren eine systematische Abweichung ihres Verhaltens zeigen. EISENHUT (1959) erwähnt beiläufig einen früheren Blühbeginn der Altbäume. Eigene Untersuchungen an 35 Paaren (je ein junger und ein ausgewachsener Baum) ergaben bei *Tilia x euchlora* für die Phase 'b' keine signifikanten Differenzen. Dagegen zeigte sich bei der Phase 'ab' ein geringfügiges, aber in der Tendenz gesichertes Vorauseilen der Altbäume um etwa $1/3$ Tag. Dieser Unterschied fand bei der Bearbeitung keine Berücksichtigung.

Zu e): Bei der Diskussion des ELLENBERG'schen Verfahrens (Kartierung phänologischer Spektren) war bereits angedeutet worden, daß die unvermeidliche Vorab-Definition der Spektren für die Bewertung und Darstellung der Ergebnisse Probleme aufwirft. Wenn der phänologische Zustand eines Einzelobjektes (*T. x euchlora*) innerhalb eines in sich einheitlichen Entwicklungsabschnittes (Aufblühvorgang) ermittelt wird, lassen sich jedoch Kriterien für eine wenigstens annähernd gleichmäßige Abstufung finden. Hierzu geben die folgenden Abschnitte nähere Hinweise, so daß an dieser Stelle die Erwähnung der Tatsache genügen mag. Die für die praktische Beobachtung verwendete Skala kann provisorisch sein, obgleich natürlich eine weitgehende Annäherung an eine physiologisch richtige Abstufung anzustreben ist. Bei einer erforderlichen nachträglichen Skalentransformation wird der dabei auftretende Fehler um so größer sein, je mehr sich die beiden Skalen voneinander unterscheiden und je gröber die provisorische Skala abgestuft wurde. Bei guter Abstimmung ist dieser Fehler jedoch erheblich kleiner als der, welcher aus der diskontinuierlichen Vertei-

lung der Beobachtungsobjekte herrührt und darf dann vernachlässigt werden.

Natürlich wirkt sich ein zu großer Abstand der Beobachtungsphasen (ebenso wie ein zu geringer) auch auf die Aufnahme selbst erschwerend aus. So sah sich z.B. KREEB (1954) in seiner bereits erwähnten Untersuchung veranlaßt, bei der phänologischen Beobachtung im Gelände den vermuteten zeitlichen Abstand (in Tagen) zur kürzlich eingetretenen oder in Kürze fälligen Beobachtungsphase zu schätzen, da keine Zwischenphasen definiert waren, sich vielleicht auch nicht definieren ließen. Es liegt dabei viel am phänologischen Material selbst, das nicht immer eine etwa 1-Tage-Abschnitten entsprechende Differenzierung erlauben wird. Mit *Tilia x euchlora* als Testpflanze (Blühphasen) erwies sich der betr. Fehler als vernachlässigbar klein.

Der bei der Auswertung der phänologischen Karten in Rechnung zu setzende resultierende Fehler ist, wie aus obigem hervorgeht, wesentlich von der Verteilung der Beobachtungsobjekte bestimmt und daher gebietsweise von unterschiedlichem Betrag. Man bestimmt ihn mittels Streuungsanalyse und zwar getrennt nach Gebietsteilen. Zweckmäßig werden dabei Arbeitskarten zugrunde gelegt, in denen sowohl die vergleichbar gemachten phänologischen Werte der einzelnen Beobachtungspunkte als auch die hiervon abstrahierten Isophanen enthalten sind. Näheres zur Methode sowie die spezielle Anwendung auf das Ergebnis der vorliegenden Untersuchung ist dem Abschnitt 5.3.4 zu entnehmen.

5.2 Durchführung der phänologischen Aufnahme (Aufblühphase von *Tilia x euchlora*)

5.2.1 Aufstellung des Routenplanes

Da hier beabsichtigt ist, Zeitgleichen ausgewählter phänologischer Phasen zu kartenmäßiger Darstellung zu bringen, ist es erforderlich, über einen mehrtägigen Zeitraum hinweg zu beobachten und zwar, infolge der Ausdehnung des Untersuchungsgebietes, unter Verwendung eines heterochronen Aufnahmeverfahrens (5.1.3). Natürlich ist es nicht möglich, alle Beobachtungsorte eines Untersuchungsgebietes genau zum Eintrittszeitpunkt der darzustellenden phänologischen Phase aufzusuchen, da dessen Feststellung ja gerade das Ziel der Aufnahme ist. Es wird daher darauf ankommen, die Begehungszeiten so zu wählen, daß sie den wahren Termin einschließen und dieser sich sodann durch Interpolation ermitteln läßt. Bei genügender zeitlicher Nähe kann man auch durch Extrapolation hinreichend genau auf den Eintrittstermin rückschließen.

Das Einkreisen der zu ermittelnden phänologischen Termine wird um so besser und mit um so geringerem Zeitaufwand gelingen, je sorgfältiger der Routenplan ausgearbeitet wurde. Eine qualitative Vorstellung von der Verteilung phänologisch früher und später Wuchsorte im Untersuchungsgebiet ist dafür ebenso unerläßlich wie eine annähernde Kenntnis der zwischen dem frühesten und dem spätesten Gebietsteil zu erwartenden Zeitdifferenz im Eintreten einer definierten phänologischen Phase. Auch muß man einigermaßen beurteilen können, wie lange der für eine Interpolation brauchbare Entwicklungsabschnitt an einem Ort voraussichtlich andauern wird. Hat man sich in einem der phänologischen Aufnahme vorausgegangenem Jahr über diese drei Fragenkomplexe Orientierung verschafft, so sind die Routen einzeln und in ihrer relativen Abfolge festzulegen, derart, daß die Beobachtung zweimal von den innerstädtischen frühen zu den periphe-

ren späten Wuchsorten fortschreitet. Dabei ist zunächst von der Annahme auszugehen, daß der zu beobachtende Entwicklungsabschnitt im betreffenden Jahr rascher abläuft, als es im Normaljahr der Fall wäre. Es ist dann immer möglich, sich dem tatsächlichen Entwicklungsablauf durch das Einfügen von Ruhetagen oder die Aufteilung von Tagesprogrammen anzupassen.

Die Festlegung einer relativen Abfolge der an einem Tage zu befahrenden Gebietsteile bereitet insofern Schwierigkeiten, als zumeist ein in sich einheitlicher und für sukzessive Beobachtung geeigneter Entwicklungsabschnitt (z.B. Aufblühvorgang) in der warmen Innenstadt beendet sein wird, ehe er in den kältesten Lagen der Peripherie begonnen hat. Dementsprechend muß man vor Erreichen der Peripherie mit der Zweitbefahrung zunächst der innerstädtischen Wuchsorte einsetzen, um dann solange im täglichen Wechsel Erst- und Zweitbefahrungen durchzuführen, bis die ersteren abgeschlossen und nur noch die letzteren zu beenden sind.

Bei guter Vorausplanung wird in einem Teil des Untersuchungsgebietes der Tag der Beobachtung nahezu mit dem Eintrittsdatum der zu kartierenden Phase zusammenfallen. Man kann dann hier auf eine zweite Befahrung verzichten; doch läßt sich das nicht im einzelnen vorhersehen. Sollen, wie im vorliegenden Falle, z w e i Phasen innerhalb eines einheitlichen Entwicklungsabschnittes kartiert werden, so wird man, wenn beide innerhalb weniger Tage aufeinanderfolgen, im allgemeinen ebenfalls mit zwei Befahrungen auskommen, von denen die eine auch z w i s c h e n beide Phasen fallen kann.

Da der zeitliche Ablauf eines Entwicklungsabschnittes sich in Gebietsteilen vergleichbarer Lage nur wenig unterscheidet, ist eine Mitverwendung von Informationen, die auf nur einmaliger Beobachtung beruhen, vielfach noch zu vertreten, auch wenn sie einen Zustand erfassen, der von dem zu kartierenden abweicht. Die Phasendifferenz

sollte jedoch nicht größer sein, als einem zeitlichen Abstand von zwei Tagen entspricht. Die derart im Analogieverfahren gewonnenen Werte müssen in der Arbeitskarte durch Einklammern oder dgl. als weniger gut gesichert gekennzeichnet sein. Man wird dieses Verfahren natürlich nur ausnahmsweise verwenden, etwa dann, wenn man infolge nicht vorhersehbarer Umstände mit dem geplanten Beobachtungsprogramm in Verzug gerät.

Nachdem die relative Abfolge der je Tag zu befahrenden Gebietsteile festgelegt worden ist, wobei diese jeweils etwa die gleiche Zahl an Testbäumen enthalten sollen (etwas mehr im zentralen, etwas weniger im peripheren Bereich), werden die entsprechenden Tagesrouten ausgearbeitet, welche auf den am raschesten zu bewältigenden Strecken alle ausgewählten Testbäume zu erreichen erlauben.

Aus der Erfahrung mit *Tilia x euchlora* als Testpflanze (Aufblühvorgang) im Gebiet von Westberlin wurden Richtwerte erhalten, die für die Planung derartiger Programme einen gewissen Anhalt geben können. So betrug die Dauer des Aufblühvorganges an einem Ort, von seinem Beginn bis zum Öffnen der letzten Blüte (sonnenexponierte Kronenteile in 3 bis 4 Meter Höhe) je nach Jahr zwischen 8 und 12 Tagen. Zwischen extrem frühen und extrem späten Lagen des Stadtgebietes werden je nach Jahr 12 bis 16 Tage Entwicklungsunterschied angetroffen. Es lassen sich also zwischen 20 und 28 Tagen für die phänologische Aufnahme nutzen. Dabei ist zu bedenken, daß die extremen Lagen, auf das Gesamtgebiet bezogen, nur einen sehr kleinen Flächenanteil einnehmen. Außerdem ist auch, infolge der Notwendigkeit einer zweimaligen Befahrung der meisten Beobachtungspunkte, der Arbeitsanfall in der Mitte der Aufnahmezeit größer als zu Beginn und Ende derselben. Auch läßt sich nur schwer auf einen Ruhetag, etwa in der Mitte des Programms, verzichten. In ungünstigeren Jahren muß somit der Hauptteil des Programms in knapp 14 Tagen bewältigt werden. Bei einem Netz von ca 1300

Beobachtungspunkten (ca. 2400 Einzelbeobachtungen) waren daher zeitweise fast 200 Punkte pro Tag aufzunehmen. Der Zeitbedarf je Beobachtung setzt sich aus drei Teilzeiten zusammen. Im Mittel des gesamten Programms wurden je zu beobachtendem Baum benötigt: für die Anfahrt 1,5 Minuten, für den Fußweg vom Fahrzeug zum Beobachtungsstandpunkt 0,5 Minuten, für das Beobachten und Notieren gleichfalls 0,5 Minuten, insgesamt also 2,5 Minuten je Einzelbeobachtung. für 200 Einzelbeobachtungen werden somit, ohne notwendige Pausen und unvorhergesehene Aufenthalte, etwa 8 1/2 Stunden benötigt. Wegen der hohen Konzentrationsbeanspruchung sollte wenigstens in der Mitte des Beobachtungszeitraumes ein Kraftfahrer zur Verfügung stehen.

5.2.2 Provisorische Skalierung des zu beobachtenden Entwicklungsabschnittes

Die Definition von Phasen in einem Entwicklungsabschnitt mit kontinuierlichem Verlauf ist ihrem Wesen nach eine Ordination. Welche konkreten Punkte aus der Entwicklungskurve herausgegriffen werden, ist dabei von untergeordneter Bedeutung.

Die Beobachtungsphasen bedeuten bestimmte relative Anteile von Beobachtungseinheiten, z.B. Blühorganen, welche das definierte Leitstadium (s.5.1.2) erreicht oder überschritten haben. Das Schätzen entsprechender Anteile ist auch im Beobachtungsprogramm der amtlichen Phänologischen Dienste vorgesehen, umfaßt hier aber meist nur ein bis wenige Stufen, z.B. 'Erste Blüten' und 'Vollblüte'. Auch dort, wo den Stufen nicht ausdrücklich ein genauer Anteil zugeordnet ist, läßt sich ein gut beschriebener phänologischer Zustand mit einem solchen gleichsetzen.

Bei dem hier zur Anwendung kommenden Verfahren ist der Beobachtungsvorgang nur insofern ein anderer, als nicht auf das Eintreten einer bestimmten Phase gewartet, son-

dem jeweils der angetroffene phänologische Zustand einem Skalenwert zugeordnet wird. Das setzt eine entsprechend enge Aufeinanderfolge der zu notierenden Phasen voraus. Im Hinblick auf die beabsichtigte heterochrone Darstellungsweise sollte die Abstufung möglichst so fein vorgenommen werden, daß der Abstand benachbarter Phasen etwa einer Tagesperiode entspricht. Dabei ist zu berücksichtigen, daß die phänologischen Veränderungen innerhalb eines Entwicklungsabschnittes, selbst bei gleichbleibender Witterung keineswegs linear fortzuschreiten brauchen. Sie gehen z.B. beim Aufblühvorgang von *Tilia x euchlora* zu Anfang und gegen Ende desselben wesentlich langsamer vonstatten, als in der Zwischenzeit (Abb. 12). Man kann daher nicht einfach von einer mittleren täglichen Aufblühdauer ausgehen, sondern muß die Abschnitte mit langsamerer Entwicklung entsprechend feiner differenzieren. In der bei *Tilia x euchlora* (etwa 8- bis 10-tägiger Aufblühvorgang) für die 1967er Kartierung verwendeten provisorischen Skala (Tab. 14) wurde dies weitgehend berücksichtigt, was sich besonders gut an der Aufeinanderfolge der frühen Phasen (0 bis 2) erkennen läßt. Auch wurden zwischen je zwei der hier verzeichneten und definierten Hauptphasen bei Bedarf noch eine intermediäre und zwei nicht-intermediäre Zwischenphasen - der einen oder anderen Hauptphase näher - angegeben. Auf diese Weise ließen sich vom Blühbeginn (Phase 0⁺⁺) bis zum Aufblüh-Ende (etwa Intermediärphase 5/6) rund 20 Stufen unterscheiden, von denen aber einige des mittleren Abschnittes praktisch nicht verwendet wurden.

Manchem mag schon eine derartige Feinheit der Abstufung für ein reines Schätzungsverfahren Übertrieben erscheinen. Das Auge unterscheidet aber solche und noch geringere phänologische Unterschiede bei etwas Übung sehr gut. Die Festlegung der betr. Stufen in relativen Anteilen läßt sich durch stichprobenartiges Auszählen der Blüten und Knospen in einem kleinen Abschnitt des repräsentativen Kronenbereiches unterstützen.

Tabelle 14 Provisorische Skala für die Beobachtung
des Aufblühens sowie der beiderseits an-
schließenden Phasen von Tilia x euchlora
des Jahres 1967

- | | |
|-----------------|--|
| 0 | Knospen nicht oder kaum merklich geschwollen |
| 0 ⁺ | Knospen deutlich angeschwollen |
| 0 ⁺⁺ | Mehrere Blütenstände mit einer sich öffnenden
oder bereits geöffneten Blüte |
| 1 | Die Mehrzahl der Blütenstände mit wenigstens einer,
mitunter auch mit mehr als einer geöffneten Blüte |
| 2 | Bis 1/3 aller Knospen geöffnet (dabei stets auch
viele Infloreszenzen mit mehr als einer geöffneten
Blüte) |
| 3 | Bis 2/3 aller Knospen geöffnet |
| 4 | Mehr als 2/3 aller Knospen geöffnet |
| 5 | Wie 4, dabei in vielen Blütenständen wenigstens
eine Blüte mit deutlicher Braunverfärbung durch
vertrocknete Stamina |
| 6 | Bis 1/2 aller Blüten abgeblüht (Inneres gebräunt) |
| 7 | Mehr als 1/2 aller Blüten abgeblüht |
| 8 | Mehr als 1/2 der jungen Früchte sind deutlich zu
sehen (Petalen abgefallen) |
-

Die Schätzung des relativen Anteils aufgeblühter bzw.
noch nicht erblühter Organe wird gegen Ende des Aufblüh-
vorgangs dadurch erschwert, daß dann die überwiegend ge-
öffneten Blüten einen Teil der wenigen noch im Knospen-
zustand verbliebenen Organe verdecken. Da zu dieser Zeit
im allgemeinen schon Abblüherscheinungen zu verzeichnen
sind, wurden diese ersatzweise herangezogen. So kommt
es, daß eine Phase 'Letzte Blüten' oder 'zu 100% erblüht'
in der Skala nicht vorgefunden wird. Dies hat sich bei
der späteren Bearbeitung als ein Mangel herausgestellt
(s.u.). Für zukünftige Untersuchungen dieser Art wäre

daher zu empfehlen, möglichst den Endabschnitt des Aufblühvorganges selbst zu beobachten, zumal sich *Tilia x euchlora* auch hier als ein durchaus günstiges Objekt erweist: ihre Infloreszenzen sind im Vergleich zu denen anderer Lindenarten sehr locker gebaut, so daß, selbst bei reichblühenden Exemplaren, der Anteil verdeckter Organe ziemlich gering bleibt. Durch eine gelegentliche genauere Nachprüfung läßt sich eine Vorstellung von der Anzahl der verdeckten Organe verschaffen. Vorteilhaft für den Anschluß der Abblüh- an die Aufblühphasen wäre es, die letzteren zusätzlich zu notieren. Der Mehraufwand an Beobachtungszeit hierbei fällt kaum ins Gewicht.

Die Beobachtung des Knospenschwellens ist erforderlich, um rechtzeitig mit der phänologischen Aufnahme einsetzen zu können. Wo Testbäume im Knospenzustand angetroffen werden, wird man aber auch hier versuchen, bestimmte Stufen zu unterscheiden und reproduzierbar zu definieren. Das Fehlen eines mit deutlicher Aspektveränderung verbundenen Leitstadiums bedingt jedoch eine gewisse Unsicherheit beim Schätzen von Knospenphasen. Einen Anhalt kann die einige Tagen vor Blühbeginn eintretende Veränderung im Farbton der Knospen geben, welcher vom ursprünglichen kräftigen Grün über einen gelbgrünen Aspekt schließlich in ein weißliches, bleiches Gelb übergeht. Diese Erscheinungen sind zwar nicht ausdrücklich in die Definitionen der Phasen eingegangen, wurden aber natürlich zur Unterscheidung mit herangezogen. Auf die Schätzung relativer Anteile von Knospen diesseits oder jenseits eines Grenzzustandes wurde zugunsten der Angabe des vorherrschenden Knospenzustandes verzichtet.

Eine verbesserte provisorische Skala sollte im Bereich der Knospenphasen hauptsächlich von den drei genannten Farbaspekten ausgehen. Bei grünem Knospenaspekt (Hochblatt voll entwickelt) kann man zudem zwischen einem Zustand mit noch relativ kleinen, fast dunkelgrünen Knospen und einem späteren mit schon merklich geschwellten (hellgrünen) Knospen differenzieren. Der erstere Zustand

läßt sich aber nicht eigentlich als Phase notieren, sondern kann lediglich im Sinne des Noch-nicht-eingetreten-seins der ersten Beobachtungsphase vermerkt werden.

Auf Grund der vorstehend erörterten Kriterien wurde die 1967er Beobachtungsskala überarbeitet. Aufblühvorgang und Anschlußphasen wurden gesondert dargestellt. Das Ergebnis zeigt Tab. 15. Den Aufblühphasen ist dabei die im folgenden Abschnitt empirisch abgeleitete quasi-homochrome Skala zugrunde gelegt worden, deren wesentliche Eigenschaft in der blühgerecht feineren Unterteilung der frühen und späten Aufblühphasen zu sehen ist. Durch im Betrag geringfügiges Abgehen von der empirischen Unterteilung ergab sich eine, den Anforderungen der Geländearbeit besser gerecht werdende vereinfachte Aufeinanderfolge. Hierbei wurde auch eine gleiche Abstufung für Beginn und Ende des Aufblühvorganges erreicht.

Geschätzt wird in Bruchteilen mit dem Zähler 1, was gegenüber dem Schätzen einer Folge gleichnamiger Brüche gewisse Vorteile bietet. So ist z.B. die Kontrolle des Schätzergebnisses durch Auszählen direkt und ohne Umrechnung möglich. Im übrigen strebt man bei der praktischen Beobachtung auch unbewußt stets Brüche dieser Form an, oft, indem man den in anderer Form vorgegebenen Skalenwert entsprechend transformiert. Wo der betr. Anteil durch einfaches Kürzen in einen Bruch mit dem Zähler 1 umzuwandeln ist (z.B. $6/30$ in $1/5$), wird diese Operation gleichsam automatisch ausgeführt. In anderen Fällen verwendet man ersatzweise ein im Resultat nahekommendes Zahlenverhältnis (z.B. $1/5$ anstelle von $3/16$, vielfach auch den an 1 fehlenden Betrag eines echten Bruches. Selbst beim Schätzen eines so einfachen Anteils wie $3/4$ erfassen wir im Grunde den Restanteil, stellen also fest, daß $1/4$ der Organe das betr. Leitstadium noch nicht erreicht hat.

Mit dem Zähler 1 und ungebrochenem Nenner lassen sich allerdings höhere und selbst mittlere Anteile nur noch

Tabelle 15 Überarbeitete provisorische Skalen für die
Beobachtung des Aufblühens sowie der beider-
seits anschließenden Phasen von Tilia euchl.

Knospenphasen (K):

(Hochblatt des Blütenstandes voll entwickelt)

- 0 = Knospen intensiv grün, klein
- 1 = Knospen grün, schwellend
- 2 = Knospen gelbgrün, schwellend
- 3 = Knospen blaßgelb, stark geschwollen

Aufblühphasen (A):

o	noch keine Blüten (= K3)					
50 ⁺	1/50	aller Blühorgane geöffnet (= Phase b)				
20 ⁺	1/20	"	"	"		
10 ⁺	1/10	"	"	"		
6 ⁺	1/6	"	"	"		
4 ⁺	1/4	"	"	"		
2 ^{+/o}	1/2	"	"	"		
4 ^o	1/4	"	"	noch im Knospenzustand ('ab')		
6 ^o	1/6	"	"	"	"	"
10 ^o	1/10	"	"	"	"	"
20 ^o	1/20	"	"	"	"	"
50 ^o	1/50	"	"	"	"	"
+	keine Blütenknospen mehr					

Abblühphasen (V):

- s = Beginn des Verblühens; bei einzelnen Blüten ist das Innere (Stamina) deutlich gebräunt
- ss = Bei etwa der Hälfte der Blühorgane ist das Innere deutlich gebräunt
- p = Bei etwa der Hälfte der Blühorgane sind die Petalen vertrocknet und hängen schlaff herab
- pp = Die Petalen sind durchwegs vertrocknet und werden vereinzelt schon abgeworfen
- f = Bei etwa der Hälfte der Blühorgane sind die Petalen abgefallen, so daß die Früchte deutlich hervortreten
- ff = Die Petalen sind durchwegs abgefallen

recht grob abschätzen. Nach der Angabe $1/2$ (50% der Organe haben das Leitstadium erreicht) kann nur noch die Aussage $1/1$, also Abschluß des betr. Vorganges folgen. Dieser Schwierigkeit kann man indessen leicht dadurch entgehen, daß man die Skala im Sinne der o.a. Bruchumwandlung komplementär aufbaut, also in der zweiten Hälfte den Anteil der noch nicht das Leitstadium erreicht habenden Blühorgane schätzt. Es bleibt dabei zwar bei einer verhältnismäßig groben Untergliederung des mittleren Abschnittes; doch fällt dies wegen des hier rascher verlaufenden Aufblühens nicht nachteilig ins Gewicht. Auch innerhalb dieser Skala können Zwischenstufen dort angegeben werden, wo die Entscheidung zwischen zwei benachbarten Stufen schwer fällt.

Die beiderseits an den Aufblühvorgang anschließenden, bzw. sich diesem überlagernden Phasen, soweit sie für die Reduktion auf bestimmte Aufblühphasen von Belang sein können, sind ihrer Abfolge nach nicht so eingehend untersucht wie jene. Insbesondere gilt dies für den Anschluß der Abblüh- an die Aufblühphasen. Das Abblühen beginnt in der Regel lange vor dem Öffnen der letzten Blüten, wobei der Überschneidungsbereich witterungsbedingt variieren dürfte. Durch die Verwendung zweier Skalen (A und V), nach denen unabhängig voneinander geschätzt wird, können die betr. Verhältnisse zuverlässig erfaßt werden.

Aus beobachtungstechnischen Erwägungen heraus wurde für die Abblühphasen von drei Leitstadien ausgegangen, bei welchen es sich aber um entwicklungsphysiologisch einander entsprechende Vorgänge handelt:

1. Das Blüteninnere ist durch die absterbenden Stamina (s) deutlich gebräunt
2. Die Petalen (p) haben ihre Turgeszenz verloren und hängen schlaff herab
3. Die Petalen sind abgefallen; Frucht (f) daher deutlich hervortretend.

Eine Phase entsprechend 100%igem Eintretensein des ersten Leitstadiums wurde nicht gegeben, da dieser Zustand etwa mit der zum zweiten Leitstadium gehörenden Phase V ss zusammenfällt.

5.3 Aufbereitung des phänologischen Rohmaterials

5.3.1 Transformation der provisorischen in eine quasi-homoshrone Skala

Die Beobachtungswerte aus einer heterochronen Aufnahme liegen in der Regel in folgender Form vor:

Am Beobachtungsort L wurde angetroffen ...

... am Tage d_1 die phänologische Phase p_1

... am Tage d_2 die phänologische Phase p_2

Die Indexzahlen symbolisieren hierbei nur die erste bzw. zweite Befahrung, keine fest aufeinander bezogene Daten. Am gleichen Tage d_n können an verschiedenen Stellen des Untersuchungsgebietes unterschiedliche Phasen p_n registriert werden. Kartiert soll jedoch nicht die am jeweiligen Beobachtungsort und -tag festgestellte Phase p_n werden, sondern das von Ort zu Ort wechselnde Eintrittsdatum d_x einer vereinbarten, genau definierten Phase p_0 . Ist letztere zwischen p_1 und p_2 gelegen, so liegt entsprechend auch d_x zwischen d_1 und d_2 und kann durch Interpolation ermittelt werden. Liegt p_0 zeitlich vor oder nach b e i d e n beobachteten Phasen, aber nahe genug bei einer derselben, so ist die Datenermittlung auf dem Wege der Extrapolation möglich.

Wegen des geringeren Aufwandes wird man natürlich die lineare Interpolation bzw. Extrapolation anstreben. Diese setzen jedoch voraus, daß zwischen je zwei benachbarten Phasen der verwendeten phänologischen Skala stets das gleiche Zeitintervall gelegen ist (homochrone Skala). Freilich würden in diesem Falle die speziellen Witterungsverhältnisse des betrachteten Zeitabschnittes in die Skala eingehen und ihre Verwendbarkeit in anderen Jahren be-

einträchtigen. Bezieht man die homochrone Skala auf den hypothetischen Fall, daß an allen Tagen des Beobachtungszeitraumes die gleiche Witterung geherrscht hat, so erlaubt zwar auch diese Skala keine lineare Interpolation in Jahren mit stärker schwankendem Witterungsverlauf; doch erweist sich auch in diesen eine solche *quasi-homochrone* Skala als brauchbar. Sie erlaubt nämlich eine Interpolation in Anlehnung an den jeweiligen Gang der für den betr. Entwicklungsabschnitt bedeutsamen meteorologischen Elemente. Bei nur gerigfügigen Pendelungen der Tageswitterungen um den Perioden-Durchschnitt kann der Fehler einer linearen Interpolation u.U. vernachlässigbar klein werden. Dies hat auch die Bearbeitung der hier hauptsächlich zugrundeliegenden 1967er Aufnahme gezeigt. Daher sei nun die Ableitung der quasi-homochronen Skala und ihre Verwendung für die Datenreduktion im einzelnen dargestellt.

Auszugehen ist von dem genauen Ablauf des zu beobachtenden Entwicklungsabschnittes an einer einzelnen Testpflanze, sowie von dem gleichzeitigen Gang einiger wichtiger Klimaparameter. Es muß sich dabei zeigen, welcherart der Zusammenhang zwischen beiden ist und ob ein Rückschluß auf den wahrscheinlichen Entwicklungsgang unter der Bedingung konstanter Witterungsverhältnisse im betr. Zeitraum möglich ist.

Die Notwendigkeit eines solchen Vorgehens wurde erst bei der Bearbeitung der 1967er Aufnahme offensichtlich, wobei sich Widersprüche im Vergleich zu früheren Aufnahmen und den für deren Zeitreduktion entwickelten Skalen ergaben. Es stellte sich dabei heraus, daß die artspezifische, biologische Komponente des phänologischen Ablaufs übersehen und lediglich der Einfluß der Witterung im Beobachtungszeitraum berücksichtigt worden war.

Im Juli 1969 wurde auf dem Gelände der Landbaufakultät der Technischen Universität Berlin (Dahlem) der Aufblühverlauf einer günstig exponierten Krimlinde (*T. x euchlo-*

ra) durch ein- bis zweitägiges Auszählen der Knospen und Blüten eines ausgewählten Kronenbereichs (rd. 300 Blüthorgane) möglichst genau verfolgt. Der Baum (Abb. 10) stand keine 100 m von der Klimahütte des Instituts für Acker- und Pflanzenbau entfernt, welcher die meteorologischen Daten zu der Untersuchung entstammen. Lediglich die Werte für die Globalstrahlung wurden aus der Berliner Wetterkarte des nahegelegenen Meteorologischen Instituts der Freien Universität Berlin entnommen. Die Lage des Testbaumes (Pfeil) sowie die der Klimahütte (links davor) zeigt Abb. 11.

Das Ergebnis der Untersuchung findet sich in Abb. 12 in Form von Summenkurven dargestellt. Die Prozentwerte beziehen sich dabei auf die Gesamtheit aller, auch der früher erblühten oder schon abgeblühten Organe. Dem Datum einer bestimmten Blüthsumme wurden die meteorologischen Werte des V o r t a g e s zugeordnet (s.u.). Die Summe aller Vortagswerte oder -mittelwerte des Aufblüthzeitraumes wurde bei den Witterungsparametern gleich 100% gesetzt. Dadurch lassen sich die Koordinaten für das phänologische Geschehen wie für den Gang der meteorologischen Elemente identisch wählen, was ihrer Vergleichbarkeit zugute kommt.

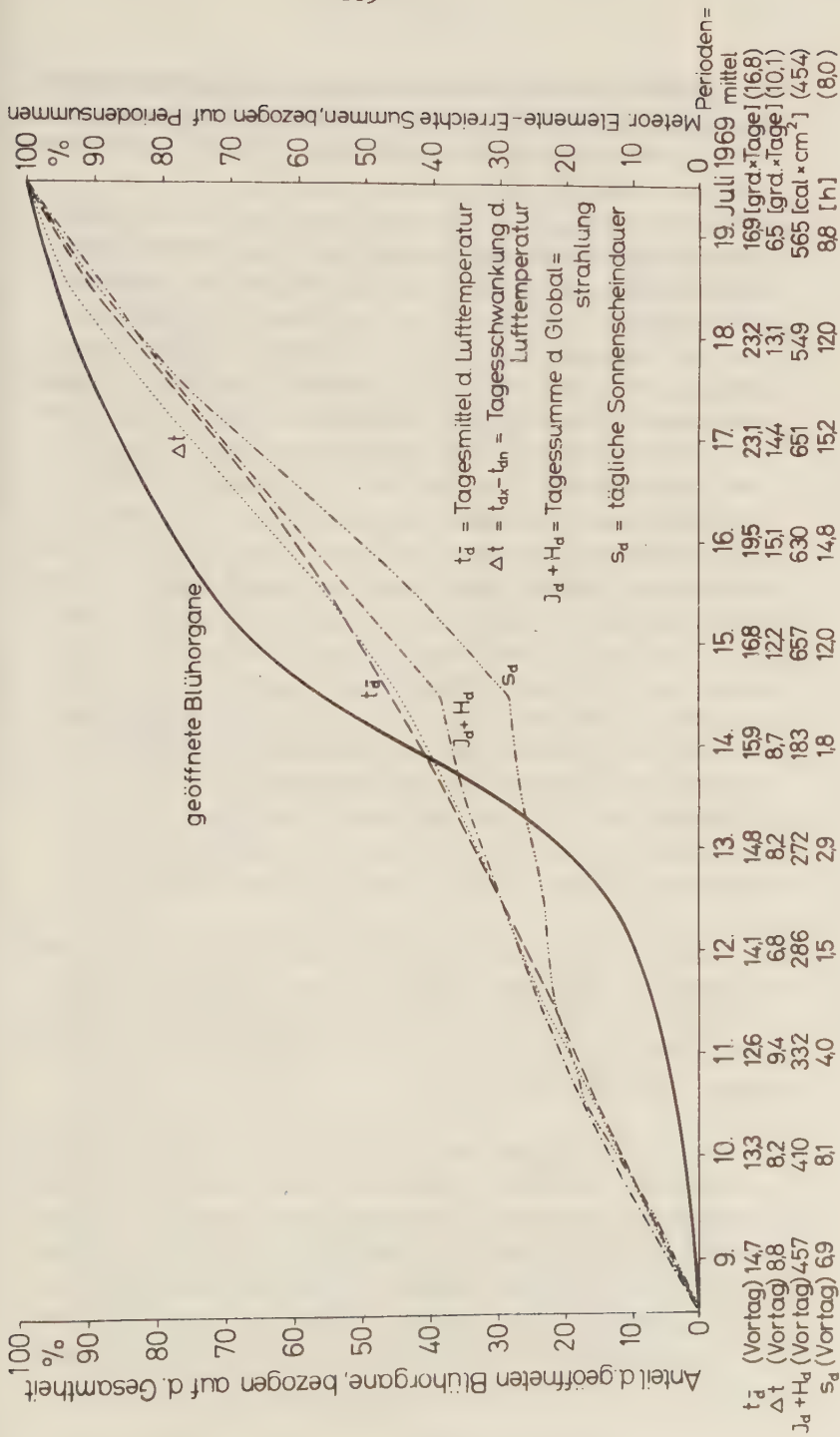
Die in der Abb. verwendeten Symbole für die meteorologischen Elemente sind internationalem Gebrauch angenähert. Eine detaillierte Darstellung dieser Bezeichnungsweise befindet sich in Vorbereitung (G.Hoffmann, Meteorologisches Institut der F.U. Berlin). Durch den tiefgestellten Index wird der Zeitabschnitt angegeben, auf den sich der betr. meteorologische Wert bezieht (d = Tag, m = Monat, a = Jahr), z.B.: s_d = Sonnenscheindauer eines bestimmten Tages. Ist der Index quer überstrichen, so handelt es sich um den Mittelwert, z.B. t_d = Tagesmittel der Temperatur. Die Extremwerte werden durch ein dem Index nachgestelltes x (für Maximum) bzw. n (für Minimum) bezeichnet. Bei vieljährigen Durchschnittswerten (Normalwerten) wird ein Querstrich über das Symbol des betr. meteorologischen Elementes gesetzt, z.B. $\bar{t}_a$.



Abb. 10 *Tilia x euchlora*, blühend. Testpflanze der 1969er Sonderuntersuchung



Abb. 11 Versuchsgelände des Instituts für Acker- und Pflanzenbau mit Klimahütte. Pfeil: Testpflanze der 1969er Sonderuntersuchung(s. Abb. 10)



= vieljähriger Durchschnitt der Jahresmitteltemperatur. Dies möge hierzu und für das Verständnis weiterer meteorologischer Angaben innerhalb dieser Arbeit ausreichen.

Die Darstellung (Abb. 12) zeigt klar, daß der Aufblühvorgang sich keiner der meteorologischen Summenkurven direkt anpaßt. Offenbar liegt ein weitgehend autonomes Geschehen vor, und es ist zu vermuten, daß es sich um ein der Art eigentümliches, in seinem grundsätzlichen Ablauf wohl sogar um ein für reichblütige Arten allgemeines handelt. So stellten WEGER et.al. (1940) die S-Form der Aufblühsummenkurve beim Birnenbaum fest, zugleich aber einen maßgeblichen Einfluß der "Temperaturverhältnisse und sonstigen Wettergeschehnisse unmittelbar vor und während der Blühzeit" auf den Verlauf des Blühprozesses. K. HOFFMANN (1962), der in seiner Arbeit gleichfalls Aufblühsummenkurven der typischen S-Form wiedergibt, ist der Witterungsabhängigkeit des betr. Vorganges mit statistischen Methoden nachgegangen und fand bei einer Reihe von Apfelsorten einen gut gesicherten Zusammenhang zwischen den zweitägigen Aufblühprozenten und der Tagesschwankung der Lufttemperatur. Auch das Ansteigen der täglichen Lufttemperatur-Mittel wirkte sich beschleunigend auf den betr. Aufblühprozess aus, jedoch nur bis zu einem Optimum von etwa 16 bis 17°C.

Die Zeit zwischen Temperaturreiz und Blühreaktion wurde zu maximal zwei Tagen ermittelt. Im Durchschnitt der fünf Beobachtungsjahre sowie mehrerer Sorten ergab sich die höchste Korrelation unter der Annahme einer eintägigen Reaktionszeit.

Auch bei *Tilia x euchlora* läßt sich eine gewisse Modifizierung der autonomen Blühsummen-Kurve durch den Witterungsverlauf erkennen, wenngleich das Material für eine statistische Analyse nicht ausreicht. So zeigt sich im linken Teil der Kurve (Abb. 12) ein sehr langsames Anlaufen des Aufblühprozesses, während die Kurve zum Blühende hin relativ steil bleibt, in guter Übereinstimmung

mit der am siebenten Blühtag einsetzenden wärmeren und strahlungsreicheren Periode.

Von den vier untersuchten meteorologischen Elementen zeigen Lufttemperatur und Tagesschwankung der Lufttemperatur offenbar die beste Anpassung an die Aufblühsummenkurve. Die Lufttemperatur wurde über 0°C summiert. Bei Verwendung höherer Basistemperaturen war die Anpassung schlechter. Die entsprechende Beziehung bei der Globalstrahlung ist etwas weniger eng als bei der Temperatur. Die größten Abweichungen von der Aufblühkurve weist die Sonnenscheindauer auf.

Der Grad des betr. Zusammenhanges läßt sich durch zwei der graphischen Darstellung entnehmbare Werte näherungsweise ausdrücken. Die Varianz (mittlere quadratische Abweichung) aus den täglichen Differenzen zwischen meteorologischen und phänologischen Prozentanteilen beschreibt allgemein das Maß der Anpassung, während die Summe der täglichen Differenzen (unter Berücksichtigung des Vorzeichens) etwas über das Verhältnis der beiden Flächen aussagt, welche die meteorologische Summenkurve über und unter der Blühsummenkurve abschneidet. Bei einem direkten Zusammenhang ist hier Symmetrie zu erwarten, d.h. beide Flächen müßten gleich groß, die Summe der Differenzen also gleich Null sein. Tab. 16 bestätigt noch einmal die aus Abb. 12 unmittelbar ersichtliche Reihenfolge der vier meteorologischen Elemente hinsichtlich ihrer Beziehung zum zeitlichen Verlauf des Aufblühprozesses. Bei den Varianzen zeigt die Tagesschwankung der Lufttemperatur geringfügig günstigere Werte als die mittlere Lufttemperatur selbst. Bei dieser ist jedoch das Verhältnis von positiven und negativen Abweichungen ausgewogener.

Es schien daher angebracht, die Aufblühsummenkurve der Abb. 12, stellvertretend für Witterungskonstanz, auf konstante Tagesmittel der Lufttemperatur während der Blüte zu beziehen. Die Temperatursummenkurve wird in diesem Falle zur Geraden. Wie Abb. 13 erkennen läßt, bildet diese Gerade mit der Blühkurve zwei nahezu deckungsglei-

Abb. 13

Hypothetische Aufblühsummen von *Tilia euchlora* nach der Beobachtungsreihe 1969, transformiert für konstante Tagesmittel der Lufttemperatur

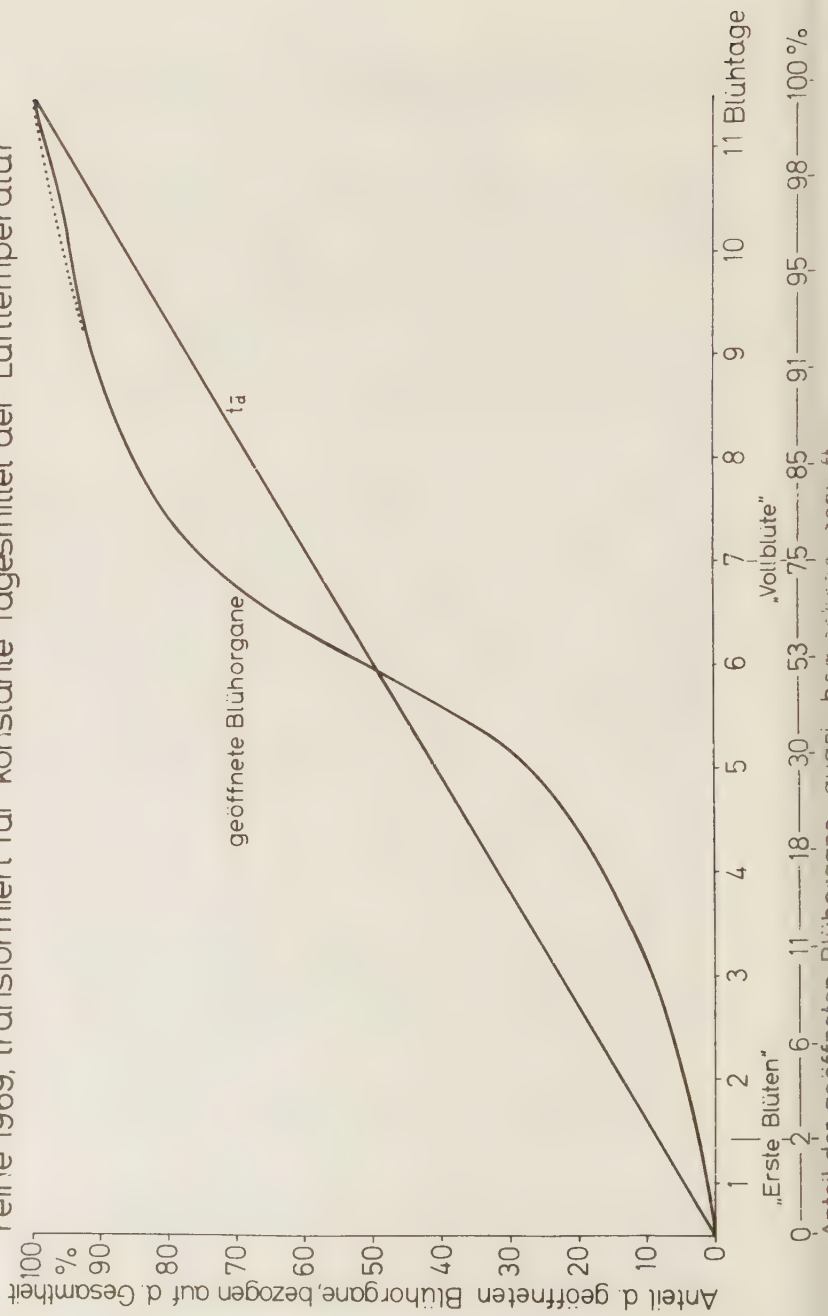


Tabelle 16 Näherungswerte für den Zusammenhang zwischen dem Aufblühverlauf bei Tilia x eu-chlora und dem Gang einiger meteorologischer Elemente (nach Abb. 12)

	Varianzen (%)	Summe der Abweichungen (%)
mittlere Lufttemperatur (Basistemperatur: 0°C)	11,8	- 2
Tagesschwankung der Lufttemperatur	11,2	+ 9
Globalstrahlung	13,5	- 15
Sonnenscheindauer	16,1	- 58

che Flächenelemente. Lediglich gegen Blühende weicht die Kurve knapp 2% von ihrem sonst regelmäßigen Verlauf ab, was aber innerhalb des Fehlerbereichs liegen dürfte. Die punktierte Linie kennzeichnet hier den theoretisch zu erwartenden gleichmäßigen Verlauf. So besitzen wir nunmehr die Hilfskurve zur Ableitung der quasi-homochronen Skala.

Natürlich ist auch die Länge des Blühzeitraumes Schwankungen unterworfen und zwar sowohl am gleichen Ort von Jahr zu Jahr als auch im gleichen Jahr an verschiedenen Wuchsorten. In dieser Hinsicht kann die dargestellte Kurve keine allgemeine Gültigkeit beanspruchen. Man wird aber nicht fehlgehen in der Annahme, daß eine Änderung der durchschnittlichen Witterungsverhältnisse während des Aufblühvorganges sich lediglich in einer gleichmäßigen Stauchung oder Dehnung der Kurve entlang der Zeitachse auswirkt, sofern bestimmte physiologische Schwellenwerte nicht über- bzw. unterschritten werden. Eine derartige eindimensionale Modifizierung hätte aber keinerlei Folgen für die aus der Aufblühkurve abzuleitende quasi-homochrone phänologische Skala. Überdies stimmten die Jahre 1969 und 1967 (Jahr der

phänologischen Gesamtaufnahme) hinsichtlich der Aufblühdauer von *Tilia x euchlora* recht gut überein.

Die quasi-homochrone Skala kann aus der Graphik direkt in Prozenten der Gesamtblühsumme entnommen werden, wenn man für alle Teilungspunkte eines beliebigen linearen Zeitmaßstabes (Abszisse) die Ordinatenabschnitte der Blühkurve bestimmt. Es erscheint günstig, den Maßstab so zu legen, daß die Kartierungsphase auf der hypothetischen Aufblühsummenkurve über einen der Teilungspunkte zu liegen kommt. Nach Möglichkeit sollten auch Beginn und Ende der Aufblühkurve mit je einem Teilungspunkt zusammenfallen.

Hier war die Kartierung **z w e i e r** Phasen beabsichtigt und zwar der üblicherweise im phänologischen Meldeprogramm enthaltenen Blühphasen Erste Blüte 'b' und Vollblüte 'ab'. Dabei wurde der ersteren Phase ein Blühanteil von 2% zugeordnet. Die Phase Vollblüte wird gegeben, wenn sich gerade 75% der Blütenknospen geöffnet haben.

Die quasi-homochrone Skala (Abb. 13, unten) wurde so gewählt, daß der Blühbeginn und beide Kartierungsphasen genau, das ohnehin nicht ganz exakt fixierbare Aufblühende annähernd mit einem Teilungspunkt der 12-stufigen Skala zusammenfallen. Diese Skala lag der Ausarbeitung der o.a. überarbeiteten provisorischen Skala zugrunde (Tab. 15).

5.3.2 Exkurs: Betrachtung zum hypothetischen Aufblühverlauf bei *Tilia x euchlora* KOCH

Nunmehr wird die Anwendung der hier ermittelten quasi-homochronen Skala zu demonstrieren sein. Zuvor aber sei noch ein Blick auf die zugrundeliegende hypothetische Aufblühsummenkurve geworfen und geprüft, inwieweit ihr Verlauf Rückschlüsse auf die Verursachung des ungleich-

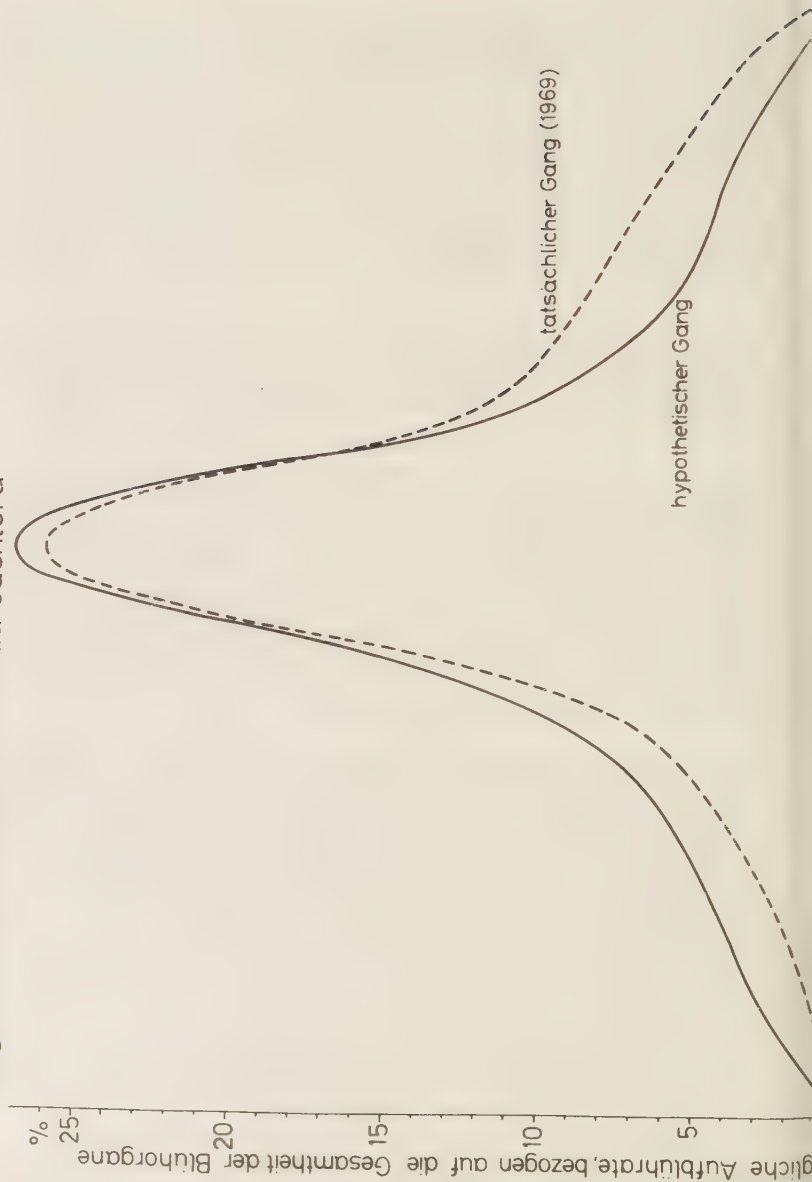
zeitigen Aufblühens innerhalb einer Baumkrone oder eines Teiles derselben erlaubt. Zunächst läßt sich feststellen, daß das von EISENHUT (1959) nachgewiesene schubweise Aufblühen innerhalb der Infloreszenzen sich im Blühverlauf einer größeren Einheit des Kronenbereichs *n i c h t* wiederfindet. Das war auch nicht zu erwarten, denn es hätte die gleichzeitige Anlage und gleichrasche Entwicklung aller Infloreszenzen des betrachteten Kronenteils zur Voraussetzung gehabt.

Eine zusätzliche Information erhält man durch Differenzieren der Aufblühkurve; d.h. man trägt ihre jeweilige Steigung gegen die Zeitachse ab und erhält so die zeitliche Änderung des Mengenanteils der pro Tag erblühten Knospen in Prozenten der Gesamtheit. Dieses Verfahren wurde sowohl auf die konkrete als auch auf die hypothetische Aufblühkurve (Abb. 12 und 13) angewandt. Die resultierenden Kurven zeigt Abb. 14. Da für den ersten Blühtag bereits eine positive Steigung zu verzeichnen ist, wurde ein "nullter" Blühtag mit der Steigung Null angeschlossen. Entsprechendes gilt für das Blühende, wo dem 12. Blühtag die Steigung Null zugeordnet wurde.

Der tatsächlich beobachtete Gang der Aufblühdauer erweist sich infolge der speziellen witterungsverhältnisse der 1969er Blühperiode als asymmetrisch: in der zweiten Hälfte des Blühzeitraumes haben mehr Organe das Leitstadium erreicht als in der ersten. Die Differentiation der hypothetischen Aufblühkurve ergibt dagegen ein fast symmetrisches Bild, daß sehr stark an die Gauß'sche Normalverteilungskurve (Glockenkurve) erinnert. Mit einiger Vorsicht darf man wohl hieraus schließen, daß die einzelnen Infloreszenzen nicht gemäß irgend einem in der Pflanze verankerten Plan mit dem Blühen einsetzen. Das Verteilungsbild deutet vielmehr auf ein statistisch determiniertes Geschehen. Vermutlich ist schon der Anlagezeitpunkt für verschiedene Blühorgane auch eines kleineren Kronenbereichs (gleiche Exposition!) nicht der gleiche. Spätere geringfügige Unterschiede in der stofflichen Versorgung der Blütenknospen, ihrem Strahlungsgehalt und

Abb. 14

Tägliche Aufblühraten von *Tilia euchlora*



ihrem thermischen Milieu mögen gleichfalls in Richtung auf eine normalverteilte Streuung der phänologischen Zustände wirken. Das Zustandekommen der spezifischen Öffnungsfolge der Blühorgane braucht hier aber nicht im einzelnen erörtert zu werden, denn diese ist nicht Gegenstand der Untersuchung, sondern nur eine methodisch nutzbare Gegebenheit: ohne eine gewisse (berechenbare) Streuung der Blühdaten wäre die heterochrone phänologische Aufnahme gar nicht möglich.

5.3.3 Erläuterungen zum Bezugsstandort

Die Festlegung eines Bezugsstandortes ist erforderlich bei Verwendung von relativen Zeiteinheiten als Kartierungsgrößen (s. folgenden Abschnitt). Grundsätzlich kann dazu ein beliebiger, wenigstens zweimal zuverlässig beobachteter Baum ausgewählt werden. Wünschenswert ist aber der Bezug auf einen Standort allgemeiner Repräsentanz. Im günstigsten Falle wäre das ein von stadtklimatischen Auswirkungen unbeeinflusster Ort mit einer für die weitere Stadtumgebung typischen Lage. Dem erstgenannten Kriterium zufolge sollte der Bezugspunkt im Luv der Stadt (bezogen auf die Hauptwindrichtung vor allem der windschwachen und strahlungsreicheren Wetterlagen) sowie möglichst stadtfern gelegen sein. Das zweite Kriterium begrenzt zwangsläufig den Abstand des Bezugspunktes von der Stadt (in unserem Falle noch mehr durch die politische Lage der Stadt bedingt) und schränkt die zur Auswahl stehenden Gebiete weiter ein.

Für die Berliner Umgebung wurde das Vorhandensein zweier standörtlich relevanter geomorphologischer Haupteinheiten herausgestellt (s. 4.1), nämlich das Gebiet der Moränenhochflächen und die Niederungen der Urstromtäler. Da die letzteren eine ziemlich autochthone Klimatönung aufweisen, ist die Hochflächenlage für einen repräsentativen Bezugsstandort ("Freiland") vorzuziehen. Die typische Oberfläche ist hier ein Mosaik von Wald- und Ackerland,

wobei das letztere anteilmäßig etwas überwiegt.

Für den hier verwendeten Bezugspunkt kann die landschaftstypische Lage als beinahe ideal gut bezeichnet werden. Es handelt sich um einen im Bezirk Spandau an der politischen Westgrenze von Westberlin gelegenen Baum an der Potsdamer Chaussee, unweit südlich der Straße 270. Der Ort gehört der Nauener Platte an. Dennoch ist ein gewisser klimatischer Niederungseinfluß nicht unwahrscheinlich, denn etwa 500 Meter nördlich von hier fällt das Gelände in einer markanten Stufe zum Warschau-Berliner Urstromtal ab. Im Süden und Osten des Bezugspunktes befinden sich ausgedehnte Rieselfelder. Weiter im Süden sowie im Westen und Südwesten werden Ackerland und Wald in mannigfaltiger Gliederung angetroffen. Knapp zwei km entfernt in östlicher und südöstlicher Richtung liegt der Seenzug der Unterhavel und jenseits davon, als wahrscheinlich recht wirksamer Puffer gegen den Stadteinfluß bei südöstlichen Winden, der Forst Grunewald.

Thermische Auswirkungen der in einiger Entfernung im Norden, Nordosten und Ostnordosten gelegenen städtischen Industrieflächen sind bei den entsprechenden Windrichtungen (Häufigkeit im Jahresdurchschnitt etwa 25%) zu erwarten. Wie man Tabelle 17 entnehmen kann, sind in Berlin die windschwächeren Lagen (ausgeprägtere Stadt-Land-Differenzen der Temperatur!) zumeist mit einer mehr meridionalen Windkomponente gekoppelt. Bei der in letzter Zeit und gegenwärtig sehr starken Verdichtung der Bausubstanz in den westlichen Teilen Spandaus dürfte daher der klimatische Stadteinfluß am Bezugsort eine zunehmende Tendenz aufweisen. Ob der etwa 1 Kilometer weiter südwestlich an der Potsdamer Chaussee gelegene Beobachtungspunkt besser als Bezugsstandort geeignet wäre, müßte noch untersucht werden, wobei der Einfluß der diesen Punkt allseitig umgebenden Rieselfelder auf das Thermoklima zu beachten ist. Die Frage eines repräsentativen Bezugsstandortes ist auch von Bedeutung für einen eventuellen Ausbau des Netzes der Berliner Klimastatio-

ufigkeit der Windrichtungen in % und die dazugehörige mittlere Windstärke in
aufort von Berlin-Dahlem, gewonnen aus den 3 Klimaterminen 7, 14 und 21 Uhr
des Zeitraumes 1950 bis 1970

		N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	C
%	=	5.2	5.3	11.7	12.3	14.0	20.4	19.5	10.0	1.6
Bft.	=	2.4	2.3	2.6	2.3	2.4	2.8	2.8	2.5	
%	=	5.3	7.8	15.1	12.6	11.0	16.9	20.7	9.9	0.8
Bft.	=	2.0	2.6	2.6	2.3	2.7	2.6	2.7	2.2	
%	=	5.7	9.9	18.2	12.1	9.6	13.5	20.3	9.3	1.5
Bft.	=	2.4	2.5	2.6	2.5	2.3	2.7	2.7	2.5	
%	=	10.2	12.0	11.9	10.3	10.0	14.0	17.2	11.8	2.6
Bft.	=	2.4	2.5	2.4	2.1	2.1	2.5	2.6	2.4	
%	=	9.1	12.2	14.6	9.1	8.5	12.1	19.3	12.9	2.4
Bft.	=	2.2	2.5	2.4	2.1	2.0	2.4	2.5	2.3	
%	=	9.2	10.5	12.0	8.2	7.7	12.7	21.8	15.2	2.9
Bft.	=	2.0	2.3	2.2	2.1	2.0	2.3	2.3	2.2	
%	=	7.8	6.5	7.4	6.5	8.6	17.9	27.5	14.9	2.9
Bft.	=	1.9	2.1	2.1	1.9	1.9	2.4	2.5	2.2	
%	=	6.5	6.6	10.3	8.6	10.9	20.1	23.9	9.6	3.5
Bft.	=	1.9	2.1	2.1	2.1	2.1	2.4	2.5	2.1	
er	%	4.1	4.4	11.3	10.7	13.1	20.7	24.5	8.5	2.6
	Bft.	1.7	1.9	2.2	2.0	2.0	2.3	2.5	2.2	
	%	3.9	5.2	13.2	12.0	16.4	20.7	17.7	7.9	2.8
	Bft.	1.8	2.0	2.3	2.0	2.1	2.4	2.5	2.2	
er	%	3.8	5.5	14.1	15.9	15.3	19.2	17.8	6.8	1.6
	Bft.	1.8	2.4	2.4	2.3	2.4	2.7	2.8	2.2	
er	%	3.1	5.4	11.5	11.7	16.7	23.4	19.0	7.1	2.0
	Bft.	2.0	2.0	2.3	2.1	2.3	2.6	2.7	2.2	
	%	6.2	7.6	12.6	10.8	11.8	17.7	20.8	10.3	2.3
	Bft.	2.0	2.3	2.3	2.1	2.2	2.5	2.6	2.3	

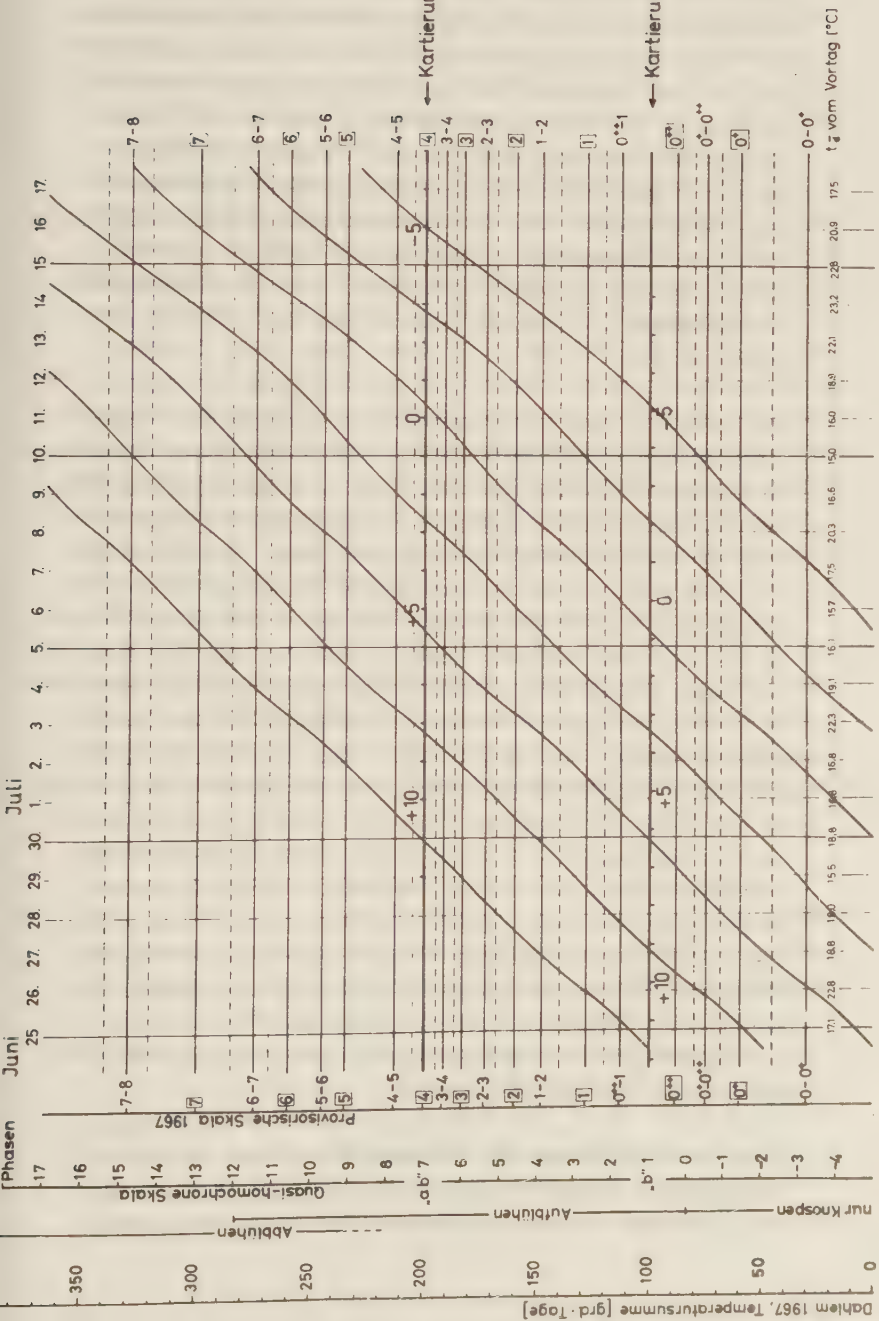
Tabelle 17
(aus RIEMER 1971)

nen. Der Bezugsstandort der Kartierung kann auf Grund der hier dargestellten Verhältnisse nur als eingeschränkt repräsentativ für die freie Umgebung der Stadt gelten. Doch dürfte es kaum möglich sein, innerhalb der Grenzen westberlins einen in dieser Hinsicht völlig befriedigenden Ort zu finden.

5.3.4 Erläuterung des Arbeitsdiagramms für die Reduktion der phänologischen Beobachtungsdaten

Der nächste Schritt zur Gewinnung einer Arbeitsgraphik für die Reduktion der einzelnen phänologischen Daten auf den Eintrittstermin der Kartierungsphase besteht in der Zuordnung der Beobachtungsphasen (provisorische Skala) zu dem jeweils entsprechenden Ort auf der quasi-homochronen Skala. Das macht keinerlei Schwierigkeiten, soweit die Beobachtungsphasen bezüglich der Aufblühprozente eindeutig definiert waren. Wo das nicht der Fall ist - und das gilt zwangsläufig für die mitverwendeten Knospenphasen und Phasen des Verblühens - muß der Anschluß gesondert berechnet werden. Bei Heranziehung eines möglichst großen Materials (Wertepaare mit je einer Aufblühphase und einer Anschlußphase) sowie Berücksichtigung des Witterungsverlaufes, insbesondere der Temperaturverhältnisse zwischen je zwei am gleichen Ort notierten Phasen, gelingt eine befriedigende Zuordnung auch in diesem Bereich.

Das Ergebnis der Skalentransformation auf Grund der 1967er Aufnahme liegt in den beiden phänologischen Ordinaten der Abb. 15 vor. Die quasi-homochrome Skala ist gleichteilig wiedergegeben. Dadurch folgen für die provisorische Skala ungleichmäßige Phasenabstände. Aus arbeitstechnischen Gründen ist diese Skalenleiste beiderseits des Diagramms zur Eintragung gelangt. Die betr. (Beobachtungs-)Phasen wurden durch waagerechte Hilfslinien hervorgehoben. Die Linien der Hauptphasen und intermediären Zwischenphasen wurden ausgezogen, die der nicht-intermediären Zwischen-



phasen dagegen, soweit bei der Beobachtung verwendet, punktiert eingetragen. Die beiden stark ausgezogenen horizontalen Hilfslinien bezeichnen die Kartierungsphasen, deren jeweilige Eintrittsdaten bestimmt werden sollen. Da hier nur die relative Zeitfolge interessiert, wurde außer der absoluten Zeitskala, welche den Abszissenmaßstab festlegt, noch je eine relative Zeitskala auf den Hilfslinien der Kartierungsphasen abgetragen. Skalen-Nullpunkte sind die Eintrittsdaten der betr. Phasen am Bezugsstandort ("Freiland"). Aus der Lage der Nullpunkte ist zu ersehen, daß der Baum am Bezugsstandort die Phase 'b' am 6.7., die Phase 'ab' am 11.7. erreicht hatte.

Die sieben in die Arbeitsgraphik eingetragenen diagonal verlaufenden Kurven geben den Temperaturgang im Beobachtungszeitraum wieder (Darstellung in Summenform; Basistemperatur 0°C). Sie dienen als Hilfslinien bei der Reduktion der Beobachtungswerte. Der betr. Ordinatenmaßstab ist ganz links verzeichnet. Sein Nullpunkt kann beliebig gewählt werden, da nur die relativen Verhältnisse zur Zeit der Beobachtungen interessieren. Die Temperatursummen können nicht direkt mit der phänologischen Skala in Beziehung gesetzt werden, sondern ihr vertikaler Maßstab wurde frei gewählt und zwar so, daß die Neigung der Kurven größenordnungsmäßig der der Blühverlaufskurven entspricht. Die zugrundeliegenden Temperaturdaten können einer beliebigen, gut arbeitenden Station des Untersuchungsgebietes oder dessen Umgebung entnommen werden. Im vorliegenden Fall wurden die Werte der Klimastation des Meteorologischen Instituts der Freien Universität Berlin in Dahlem entnommen. Wie an früherer Stelle dargestellt, ist dem jeweiligen Blühtag die für den V o r t a g geltende Durchschnittstemperatur zuzuordnen (Werte im Arbeitsdiagramm unten).

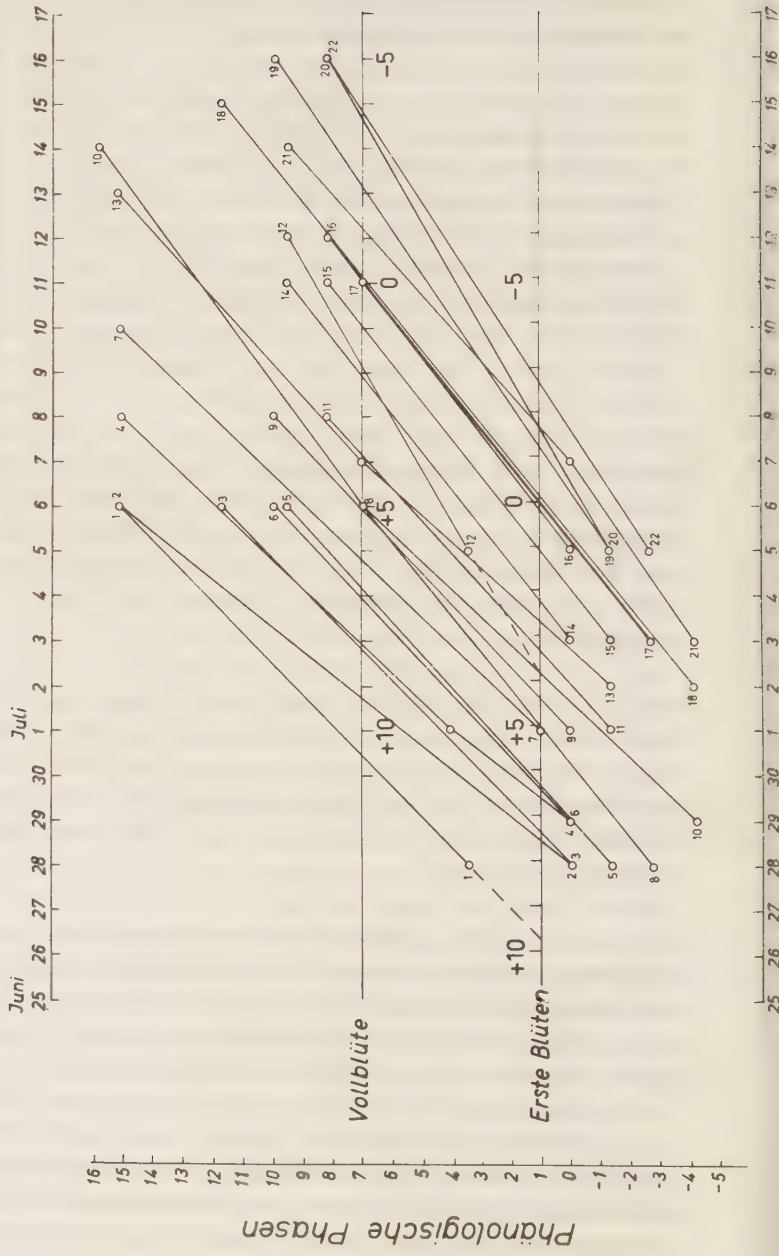
Durch die Zuordnung der Beobachtungsphasen zu den entsprechenden Abschnitten der quasi-homochron unterteilten Ordinate wäre die Voraussetzung für eine lineare

Interpolation oder Extrapolation der Einzelbeobachtungen auf das Datum der Kartierungsphase geschaffen, sofern die Witterung im Beobachtungszeitraum hinlänglich gleichmäßig geblieben ist. In Wirklichkeit ist jedoch während eines Zeitraumes von ca. 3 Wochen stets mit Schwankungen der meteorologischen Parameter zu rechnen. Man kann diese Schwankungen berücksichtigen durch Anlehnung der Interpolation an den zeitlichen Gang der relevanten meteorologischen Faktoren - hier vertreten durch die Temperaturverlaufslinien (Summenkurven). Für die Witterungsverhältnisse, wie sie bei der 1967er Aufnahme angetroffen wurden, unterscheiden sich jedoch die Resultate von linearer und an den Temperaturgang angepaßter Interpolation nur geringfügig: gelegentlich, bei ungünstiger Lage der Beobachtungstermine, ergibt sich ein positiver oder negativer Interpolationsfehler von bis zu einem Tag. Sofern allerdings die Blühperiode einen markanten Witterungssprung enthält, sind auch systematische Abweichungen von bis zu zwei Tagen möglich. In diesem Falle läßt sich das recht zeitraubende Verfahren der temperaturverlaufsgerechten Interpolation nicht umgehen.

Abb. 16 zeigt die 1967er Daten einer Reihe von Beobachtungsstellen in das Arbeitsdiagramm eingetragen und linear verbunden. An den Schnittpunkten der jeweiligen Aufblüheraden mit den Bezugsgeraden (Kartierungsphasen) lassen sich die beiden phänologischen Relativwerte unmittelbar ablesen.

Die in der beschriebenen Weise auf Grund linearer Interpolation und Extrapolation zustandegekommenen reduzierten Daten lassen sich unmittelbar in der phänologischen Arbeitskarte verwenden. Das gilt jedoch nicht für die Beobachtungsdaten von den über 130 Ergänzungspunkten mit *Tilia tomentosa* und *T. cordata* als Testpflanzen. Um auch diese Werte mitverwenden zu können, wurde eine Reihe von Beobachtungsstellen einbezogen, an denen *T. euchlora* in nächster Nähe von *T. tomentosa* und *T. cordata* wächst. Aus dem Vergleich der jeweiligen phänologischen Zustän-

und an 21 weiteren, ausgewählten Beobachtungsstellen



de ergaben sich die in Abb. 17 dargestellten Zusammenhänge. Wegen der relativ hohen Streuung bei der Zuordnung der Ergänzungsbeobachtungen wurden diese Daten, nach Reduktion auf die Kartierungsphasen, in der Arbeitskarte in Klammern vermerkt, um ihre geringere Zuverlässigkeit zu kennzeichnen.

Schließlich sind noch die Daten der nur einmal im Beobachtungszeitraum aufgesuchten Testbäume zu verarbeiten. Hier ist eine Interpolation oder Extrapolation auf den Eintritt der Kartierungsphase nicht ohne weiteres möglich. Fast in allen Fällen gelingt aber durch Vergleich mit den Daten benachbarter oder in ähnlich strukturierten Gebietsteilen gelegener Beobachtungsstellen die Reduktion auf die Kartierungsphase hinlänglich genau. Das läßt sich jedenfalls für das Kartierungsjahr 1967 sagen, das während der Blühperiode von *T. euchlora* recht gleichmäßige Witterungsverhältnisse aufwies. Die Zeitintervalle zwischen definierten Phasen zeigten dabei im ganzen Untersuchungsgebiet nur geringfügige Unterschiede. Dennoch wurden die durch ein derartiges Analogverfahren indirekt ermittelten Werte in der Arbeitskarte durch Einklammern gekennzeichnet.

5.3.5 Darstellung der Ergebnisse in Kartenform

5.3.5.1 Die Genauigkeit der Isochroneintragung bei gegebener Datenstreuung

Nunmehr liegen für jede Kartierungsphase etwa 1300 Einzeldaten vor, welche unmittelbar in die Arbeitskarte eingetragen werden. Wegen der tlw. erheblichen Dichte der Beobachtungsstellen wurde aber darauf verzichtet, die Einzeldaten auch in die zum Druck gelangten endgültigen Karten zu übernehmen. Um dennoch eine Vorstellung von der Verteilung der Beobachtungsstellen im Untersuchungsgebiet zu vermitteln, wurde eine entsprechende Karte beigegeben (Abb. 18). Dieser kann auch die Lage der Westberliner Klimastationen entnommen werden.

Zuordnung phänologischer Daten von *Tilia tomentosa* u. *T. cordata* (provisorische Skalen) zu denen benachbart stehender *T. euchlora*

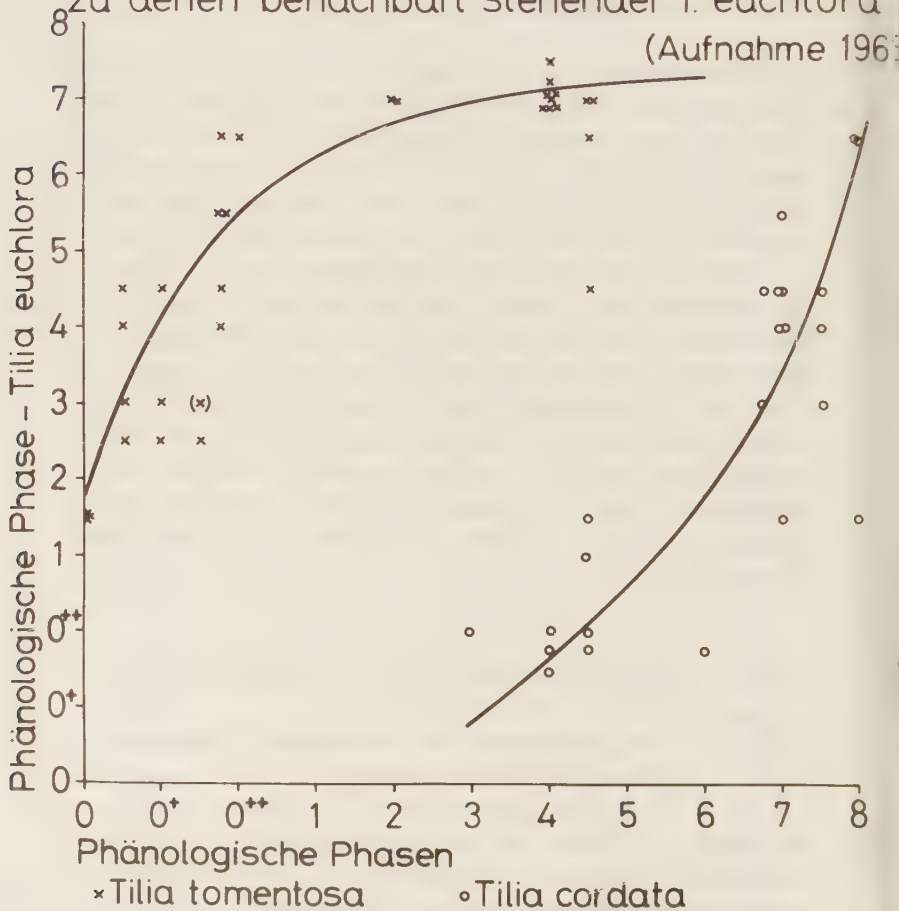


Abb. 17

Testbaume

- *Tilia euchlora* KOCH
- × *Tilia cordata* MILL.
- △ *Tilia tomentosa* MOENCH
- Westberliner Klimastationen

0 1 2 3 4 5 km



In den beiden phänologischen Hauptkarten (Karte 1 und 2 - siehe Anlage) sind, abgesehen von der topographischen Situation und Rasterstufen für die hauptsächlichsten Kategorien der städtischen Bauweisen, lediglich die aus dem reduzierten Datenmaterial abstrahierten Isophanen (phänologischen Isochronen) im Abstand von zwei zu zwei Tagen zur Darstellung gelangt. Nun hat BÖER (1948), die Isophanendarstellung kritisierend, mit Recht darauf hingewiesen, daß letztere nicht erkennen läßt, in welchem Maße die Linienführung in den einzelnen Gebietsteilen als gesichert gelten kann und daß "die Streuung der Einzelwerte auch durch unbeschränkte Vermehrung der Anzahl der Beobachtungen nicht eliminiert werden kann". Sie läßt sich aber doch recht genau für den jeweiligen Kartenabschnitt angeben. Daß überhaupt mit einem Streuungsbetrag zu rechnen ist, kann nicht als grundsätzlicher Einwand gegen die Darstellung in Isophanenform gelten. Dagegen ist die Kenntnis dieses Betrages von Nutzen bei der Beurteilung der noch sinnvoll zu vertretenden zeitlichen Dichte benachbarter Isophanen. Hierbei ist zu berücksichtigen, daß die von benachbarten Isarithmen eingeschlossenen Einzelwerte auch bei ideal geordneter Verteilung (entsprechend etwa der Verteilung der Höhenpunkte auf einer geneigten Ebene) rein rechnerisch eine Streuung aufweisen, d.h. sie weichen mehr oder weniger von ihrem Mittelwert ab. Diese "scheinbare Streuung" s_0 beruht auf den Eigenschaften des Gradientenfeldes selbst.

Da sich s_0 nicht auf eine normalverteilte Eigenschaft bezieht, ist es nicht möglich, sie als Standardabweichung nach

$$s = \pm \sqrt{\frac{\sum (x-M)^2}{N}}$$

zu berechnen. Es würde hierbei ein zu niedriger Betrag für die Streuung resultieren, da die Standardabweichung eine stärkere Häufung der Daten um den Mittelwert der Verteilung voraussetzt.

Der Betrag von s_0 läßt sich aber indirekt ableiten. Man betrachtet ihn wie bei der Standardabweichung als den symmetrisch um den Mittelwert gelegenen Bereich einer Verteilung, in dem rd. $2/3$ (genau: 68,26%) aller Einzelwerte angetroffen werden. Der Prozentanteil der eingeschlossenen Einzelwerte einer Rechteckverteilung wie der hier betrachteten (gleiche Häufigkeit in allen Klassen) verändert sich proportional zum Abstand der gewählten Grenzwerte vom Mittelwert. Die der Standardabweichung einer Normalverteilung entsprechende "scheinbare Streuung" umfaßt daher ca. $2/3$ der Variationsbreite, symmetrisch um den Mittelwert. Setzt man einen Isophanenkennwert als Mittelwert, so entspricht die Variationsbreite dem Meßwertintervall zwischen zwei in der Karte benachbarten Isophanen (hier: Isochronen). Bei einer Abstufung von zwei zu zwei Tagen gilt dann: $s_0 = \pm 0,68$ Tage.

Die "wahre Streuung" s_x (das ist hier z.B. die Streuung auf Grund von Unterschieden der Exposition, von Beobachtungs- und Bearbeitungsfehlern, von individuellen Verschiedenheiten der Testpflanzen etc.) bezieht sich im Gegensatz zur "scheinbaren Streuung" auf eine mehr oder weniger normalverteilte Eigenschaft: die Wahrscheinlichkeit, einen bestimmten Beobachtungswert in der Karte anzutreffen, sinkt mit zunehmendem Abstand von der diesen Beobachtungswert repräsentierenden Isophane - jedoch nicht proportional.

Für die praktische Streuungsermittlung empfiehlt es sich, die Gesamtstreuung s_g der Beobachtungsdaten in einem durch zwei Isophanen begrenzten Abschnitt als Standardabweichung zu berechnen, als Verteilungsmittelwert also nicht einen Isophanenkennwert, sondern den Durchschnitt der Kennwerte zweier benachbarter Isophanen zu wählen. Der Betrag der "scheinbaren Streuung" wird dadurch nicht verändert. Dieser muß sodann zur Ermittlung der "wahren Streuung" aus der Gesamtstreuung eliminiert werden. Das kann analog dem zur Ermittlung der Fehlerfortpflanzung angewandten Verfahren geschehen:

$$s_x = \pm \sqrt{s_g^2 - s_o^2}$$

Die Feststellung der als Bestimmungsungenauigkeit relevanten Streuung bereitet somit keine Schwierigkeiten. Zu- vor ist noch zu erörtern, welche Isochronendichte bzw. allgemein: Isarithmendichte bei vorgegebenem s_x als noch vertretbar gelten kann. Abb. 19 zeigt im Schema vier fünfreihige Ziffernfelder mit nach rechts anstei- genden Werten. Der Gradient ist in allen Fällen der glei- che - somit auch der Betrag von s_o . Unterschieden sind die Felder lediglich hinsichtlich ihrer "wahren Streu- ung" s_x . Die senkrechten Reihen möge man sich als auf einer zeichnerisch abstrahierten Isarithme gelegene Wer- te vorstellen.

Abb. 19 Darstellung von Datenstreuungen im Gradient-
feld eines Karteninhaltes

$s_x = 0,0$					$s_x = 0,5$				
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	2	3	4	5	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	2	3	4	5	0	1	2	3	4
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
$s_x = 0,7$					$s_x = 1,0$				
1	2	3	4	5	2	3	4	5	6
0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
2	3	4	5	6	1	2	3	4	5
1	2	3	4	5	3	4	5	6	7
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
2	3	4	5	6	-1	0	1	2	3
0	1	2	3	4	1	2	3	4	5
1	2	3	4	5	0	1	2	3	4
					2	3	4	5	6

Bei einem $s_x = 0,5$ ist damit zu rechnen, daß 25% der betr. Werte vom Kennwert der Isarithme um eine Einheit abweichen. Bereits die Hälfte aller Einzelwerte weicht vom Kennwert ab, wenn $s_x = 0,7$ beträgt. Hier scheint die Grenze zu liegen, oberhalb derer es nicht mehr zu vertreten ist, für jede Kartierungseinheit eine Isarithme einzutragen. Bei einem $s_x = 1,0$ weichen bereits $2/3$ aller auf der Isarithme gelegenen Werte vom betr. Kennwert ab und zwar z.T. schon um zwei Einheiten, da ja etwa ein Drittel aller gleichen Werte jenseits des durch die einfache Standardabweichung beschriebenen Bereiches angetroffen werden. Eine Abstufung durch Isarithmen von zwei zu zwei Einheiten bedeutet aber noch keine Überinterpretation des Karteninhalts, denn es liegen hierbei zwei Drittel aller Werte im Zuordnungsbereich der Isarithme gleichen Kennwertes.

Geht man nunmehr Karte 1 abschnittsweise durch (Karte 2 ist in der Datenstreuung entsprechend, so daß sich eine gesonderte Analyse erübrigt), so lassen sich die in Tabelle 18 zusammengestellten Streuungsbeträge ermitteln. Die Berechnung wird dadurch etwas umständlich, daß man gezwungen ist, "gewogene" Anteile zu verarbeiten. Zunächst können alle von den begrenzenden Isochronen berührten Werte nur mit halbem Gewicht in die Berechnung eingehen. Entsprechend wurde mit allen eingeklammerten Beobachtungswerten (siehe vorigen Abschnitt) verfahren. Schließlich erwies es sich auch als notwendig, einen rechnerischen Ausgleich durchzuführen, wenn die begrenzenden Isochronen eine sehr unterschiedliche Anzahl von Werten tangierten. Alle diese Manipulationen bewirken, daß die Zahl der in die Streuungsanalyse eingehenden Werte n_{eff} geringer ist als die Zahl der tatsächlich zugrundeliegenden Beobachtungsdaten n . Die bei der Wichtung gelegentlich zweckmäßige Verwendung eines generellen Multiplikators wurde nach der Operation rückgängig gemacht.

Tabelle 18 Abschnittsweise Berechnung der "wahren Streuung" (s_x)
derphänochronischen Daten zwischen benachbarten Isarithmen

Kartenabschnitt	begrenzende Isochronen	s_x	n	n_{eff}
Charlottenburg, 3 Teilgebiete	> +8	1,4	20	9
Wilmersdorf, Schöneberg, Charlottenburg (geschloss. innerstädt. Wärmeinsel)	+6/+8	0,9	83	47
Spandau (Innengebiet)	> +6	-	7	3
Schöneberg (Sachsensdamm bis Yorkstr.), Kreuzberg (südl. Gneisenastr. u. Hasen- heide (Str.)), Neukölln, Kreuzberg östl. der Linie Südsterne-Oranienplatz	+4/+6	0,7	71	51
Spandau		-	10	7
Grunewald (Stadtteil), Eichkamp, Wil- mersdorf, Steglitz bis Birkenbuschstr., Teltowkanal, Schöneberg bis Priester- weg, Sachsensdamm		1,0	158	102
Reinickendorf (ohne Tegel u. Borsigwalde), Wittenau, Wedding		0,6	55	28
Charlottenburg, Charlottenburg-West, Moabit-Tiergarten, Westend, Lietzensee		0,2	29	16
Tiergarten (Anlagen)	< +4	0,5	7	6
Grunewald (Stadtteil), Dahlem, Zehlendorf	+2 / +4	0,8	111	78
Lichterfelde, Mariendorf, Buckow, Britz bis Teltowkanal		0,6	35	21
Spandau westlich der Havel		0,0	17	12
Reinickendorf: Tegel bis Tegeler See		0,7	34	27
Tegel-Süd bis Rehberge und Großmarkt (Beusselstr.)		0,3	15	5
Haselhorst, Siemensstadt, Südhafen, Ruh- leben	> +2	0,6	14	11
Westend, Halensee, Eichkamp		0,9	12	9
Lichtenrade (inneres Gebiet)		0,8	10	8
Lichterfelde, Lichtenrade, Rudow		-	15	12
Grunewald, Dahlem		0,6	16	10
Tegeler See bis Schleuse Plötzensee	0 / +2	1,1	7	4
Ruhleben, Olympiastadion, Eichkamp		0,5	30	25
Nikolassee, Schlachtensee, Onkel-Tom-Sied- lung, Fischtal, Düppel, Zehlendorf-Süd		0,7	37	27
Reinickendorf, Tegel		0,4	22	12
Spandau-Süd		0,0	9	4
Unterhavel incl. Wannsee, Kladow (ohne Nikolassee)	< +2	0,6	31	19
Heiligensee, Frohnau, Hermsdorf, Lübars, Grunewald (Forst)	-2 / 0	0,4	43	27
		1,4	14	10

Die in Tab. 18 für verschiedene Kartenabschnitte gegebenen Beträge der "wahren Streuung" liegen zwischen null und einem Tag Standardabweichung. Es kann sogar vorkommen, daß in einem Gebiet $s_g < s_o$ und damit s_x imaginär wird (in der Tabelle weggelassen). Hier, wie auch im Falle besonders hoher Streuungen ($s_x > 1,0$) handelt es sich meist um Abschnitte mit wenig Beobachtungsdaten. Die hohe Streuung für das Gebiet des Grunewaldes folgt aus einem sehr stark abweichenden Beobachtungswert, dessen Realität und Verursachung noch nicht geklärt werden konnte. Dagegen spiegelt der hohe s_x -Wert für die allerfrühesten Charlottenburger Gebietsteile eine dort allgemeine Erscheinung wieder, die auf Expositionsunterschieden beruht. Betrachtet man lediglich die gut belegten Abschnitte ($n_{eff} > 20$), so zeigt es sich, daß deren "wahre Streuung" zumeist 0,7 Tage oder etwas darüber beträgt. Nach den o.a. Kriterien kann daraus die Zweckmäßigkeit einer Isochronenfolge von zwei zu zwei Tagen gefolgert werden, wie sie dann auch zur Eintragung kam. In einigen Abschnitten wäre auch eine Verdopplung der Isarithmendichte noch vertretbar, doch ist es nicht sinnvoll, den entsprechenden Informationsgewinn mit einem Verlust an Übersichtlichkeit des Karteninhalts zu erkaufen, wie er aus einer abschnittsweise unterschiedlichen Isochronendichte folgen müßte.

Nicht gesondert vermerkt wurden in der Tabelle solche Gebiete, für die, in Ermangelung von Daten, eine Streuungsberechnung nicht ein Frage kam. Das sind im wesentlichen nur der Nordwesten des Bezirkes Spandau einschließlich der Waldgebiete sowie der Tegeler Forst. Durch das hier erforderliche analoge Verfahren beim Ausziehen der Isochronen kommt natürlich ein Fehlerbetrag hinzu. Aber auch in diesen Fällen schien es nicht sinnvoll, von dem in weiten Gebietsteilen als angemessen erwiesenen zweitägigen Isochronenabstand abzugehen.

Das hier geschilderte Verfahren ist schwer anwendbar auf solche Gebietsteile, bei denen eine der beiden begren-

zenden Isochronen fehlt, also abgeschlossene Früh- und Spätgebiete sowie die Randzonen des Untersuchungsgebietes. Sofern hier allerdings genügend Einzeldaten mit einem der fehlenden Isarithme entsprechenden Betrag erhalten sind, kann in gleicher Weise vorgegangen werden. In der Tabelle ist in diesen Fällen statt der beiden begrenzenden Isochronen nur die eine, tatsächlich ausgezogene bezeichnet. Außerdem ist durch das Vorzeichen > bzw. < angegeben, auf welcher Seite dieser Isochrone die bearbeiteten Werte gelegen sind.

Zum Wert von Streuungsangaben bei phänologischen Karten ist zu sagen, daß diese nicht allein einen Ausdruck für die Qualität und Quantität des phänologischen Netzes darstellen (Verteilung der Beobachtungsstellen, Einheitlichkeit der Mikrostandorte), sondern daß hier ebenso alle zufallsmäßig verteilten Beobachtungs- und Bearbeitungsfehler mit eingehen. Abgesehen von den gerichteten Fehlereinflußgrößen, deren Geringhaltung vorrangiges methodisches Erfordernis ist, kann man den Betrag der "wahren Streuung" als den **r e s u l t i e r e n d e n** Fehler der gesamten Untersuchung ansehen.

5.3.5.2 Die Aussagekraft phänologischer Gradienten unter den Aspekten von standörtlicher Lage und Witterung zur Blütezeit

Wenn mittels der im Vorausgegangenen dargestellten Methode die einigermaßen genaue Erfassung des Phaseneintritts an einem Ort gelingt, so stellt sich die Frage, ob die so erhaltene phänochronische Verteilung im ganzen Gebiet nach dem gleichen Maßstab zu bewerten ist, konkret: ob eine bestimmte Isochronendichte, etwa am Stadtrand und im Stadtinneren festgestellt, in beiden Fällen dem gleichen Gradienten des verursachenden Faktorenkomplexes entspricht. Diese Frage ist zunächst unter der Bedingung gleichbleibender Witterung im Blühzeitraum zu prüfen. Sodann muß untersucht werden, inwieweit ungeachtet einer korrekten Beachtung des Witterungsverlaufes bei der Da-

tenreduktion (5.3.4), dieser sich dennoch im phänochronischen Verteilungsbild auszuprägen vermag. Gefragt ist also u.a. nach der Berechtigung einer Verallgemeinerung von Ergebnissen, die in einem einzigen Jahr gewonnen wurden.

Wie gezeigt werden konnte, läßt sich der Faktor Lufttemperatur weitgehend als stellvertretend für den das Tempo der Blühentwicklung bestimmenden Faktorenkomplex ansehen. Angenähert müssen, bei Verwendung einer thermisch linearisierten (quasi-homochronen) phänologischen Skala als Ordinate, alle Blühentwicklungskurven zu Geraden werden, Gleichmäßige Witterung im Blühzeitraum vorausgesetzt. Und zwar ist zu erwarten, daß die Kurven des warmen Stadtinneren gegenüber denen der kalten Stadtrandlagen die größere Steigung aufweisen. Daß dies im großen und ganzen auch tatsächlich der Fall ist, geht aus Abb. 16 hervor, wobei, nach den theoretischen Erörterungen, eine strenge Funktionalität auf keinen Fall erwartet werden darf.

Die der Abb.¹⁶ zu entnehmenden Steigungsbeträge für das Stadttinnere wie für die kältesten Lagen wurden in Abb. 20 als begrenzende Geraden eines divergierenden Strahlenbündels wiedergegeben. Die einzelnen Strahlen entsprechen einer Suite von Standorten, deren jeder vom nächstfolgenden auf der quasi-homochronen phänologischen Skala gleichweit entfernt ist, so daß sich eine angenähert temperaturgleich gestufte Abfolge der Blühentwicklungsgeraden ergibt.

Der aus Abb. 16 und dem Schema Abb. 20 entnehmbare Divergenzbetrag - innerstädtische Standorte zeigen eine um ca. 60% höhere Steigung als Spätlagen der Peripherie - führt zu für die Karteninterpretation bedeutsamen Folgerungen. Verlängert man nämlich die betr. Blühverlaufsgeraden nach rückwärts, so findet man, bei Verwendung von Abb. 20, daß sie zum 9. Juni hin konvergieren, d.h., in relativer Zeitzählung, von einem Datum ihren Ausgang nehmen, das nur ca. 2 Wochen vor dem Blühbeginn an Standorten des Stadtinneren gelegen ist. Die realen

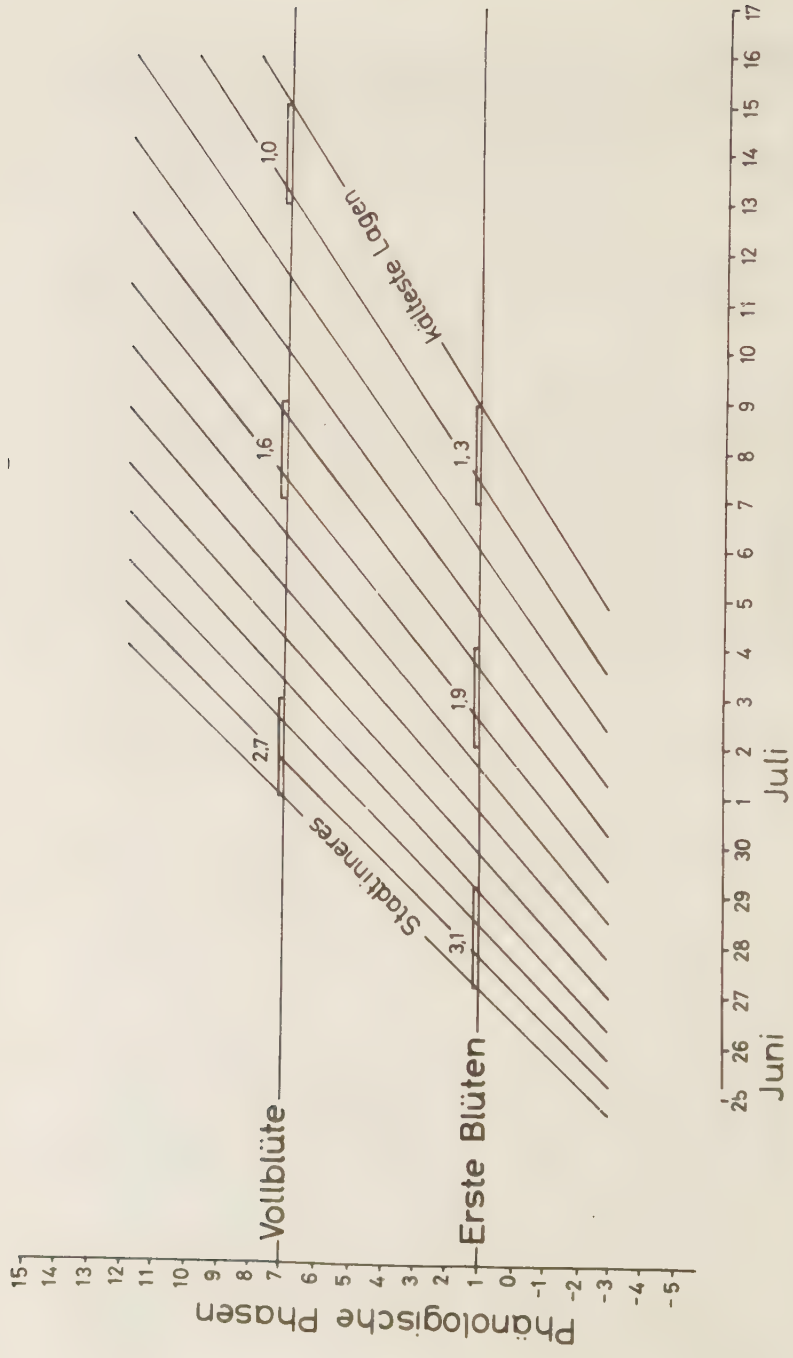


Abb. 20 Temperaturgleich gestufte Standortserie: theoretische Blühentwicklung bei gleichbleibender Witterung

Blühkurven (Abb. 16) gehen natürlich nicht von einem einzigen Punkt aus. Gelegentlich weisen die Steigungen selbst nahe benachbarter Blühverlaufskurven erhebliche Unterschiede auf. Dennoch läßt sich auch hier durch Rückwärtsverlängerung des Kurvenbündels (geknickte Kurven nach ihrer mittleren Steigung) das Datum festlegen, bei dem die Streuung der phänologischen Werte ein Minimum erreicht. Dies ist hier sogar schon am 19./20. Juni der Fall. Bei Rückwärtsverlängerung über dieses Datum hinaus steigt die Streuung wieder an. Zu dem betr. Zeitpunkt sind die Knospen schon relativ weit entwickelt, und es unterliegt keinem Zweifel, daß die standörtliche Differenzierung im Hinblick auf den Blühtermin Monate früher ihren Anfang genommen haben muß. Somit erscheint das Vorgehen einer Extrapolation der Blühentwicklung nach rückwärts als fragwürdig. Allenfalls könnte sie bis zu den spätesten Phasen des Knospenschwellens zulässig sein. Da die Knospenentwicklung wesentlich länger als die eigentliche Blühperiode währt, muß man sich das Kurvenbündel in diesem Teil als flacher und nahezu parallel verlaufend vorstellen.

Nunmehr seien die im Gültigkeitsbereich der theoretischen Blühkurvenschar gelegenen Kartierungsphasen 'b' (=1) und 'ab' (=7) näher betrachtet. Etwa 12 Tage dauert es, bis alle Standorte des Untersuchungsgebietes die Phase 1 durchlaufen haben - ohne Berücksichtigung der extremsten, mikroklimatisch ausgezeichneten Lagen. Für die Phase 7 lautet der entsprechende Wert 14 Tage. Über die ganze zeitliche Streuungsbreite der Phasen 1 und 7 verteilt sind in Abb. 20 je drei Zweitagespannen durch Doppelkonturen zur Darstellung gebracht worden. Die darüber notierten Zahlen geben an, wieviel Einheiten der oben erläuterten, temperaturgleich gestuften Standortsfolge innerhalb einer Zweitagespanne durchlaufen werden. Es wird deutlich, daß die Isochronen das Untersuchungsgebiet keinesfalls in gleiche Temperaturstufen unterteilen. Man wird sich bei der Interpretation einer heterochronen phänologischen Karte als Ausdruck für den klimatischen Standort vor Augen zu halten haben, daß ein bestimmtes

für einen Blühabschnitt benötigtes Zeitintervall in der Innenstadt der zwei- bis dreifachen Zahl von Standortsstufen entspricht als dasselbe Intervall im peripheren Gebiet! Die Innenstadt wird also bei heterochroner Kartierung relativ zu schwach differenziert.

Es kann natürlich nicht übersehen werden, daß in der hier gezogenen Schlußfolgerung einiges Hypothetisches enthalten ist. Das als Ausgangssituation verwendete Schema enthält Annahmen, die erst in sorgfältigen Untersuchungen erhärtet werden können. So muß u.a. offen bleiben, inwieweit die Abb. 20 zugrundeliegende Voraussetzung gilt, daß die zu einem bestimmten Zeitpunkt innerhalb der Blühzeit eine temperaturgleich gestufte Folge bildenden Standorte eine solche auch während der übrigen Zeit der betr. Periode darstellen. Das kann indessen bei nicht allzu extremer Witterungsabfolge als wahrscheinlich gelten. Die unterschiedliche Bedeutung der Isochronendichte für die standörtliche Differenzierung dürfte somit als Quelle möglicher Fehlbeurteilungen eine gewisse Rolle spielen.

Theoretisch ist es möglich, eine klimatische Standortskarte in der Weise aus der phänochronischen Karte zu erhalten, daß man beim Reduktionsverfahren den Divergenzeffekt rückgängig macht. Um dies hinlänglich exakt zu bewerkstelligen, ist aber eine genaue synchrone Beobachtung von phänologischen und zugeordneten klimatischen Abläufen unterschiedlicher Standorte des Untersuchungsgebietes erforderlich. Dabei wären zu verschiedenen Tageszeiten durchgeführte Messungen am jeweiligen Testbaum an eine möglichst nahe gelegene registrierende Temperaturmeßstelle anzuschließen. Ein derartiges Programm befindet sich im Planungsstadium und könnte interessante Ergebnisse zeitigen. Für die hier vorgelegten Karten muß es jedoch mit dem Hinweis auf die Interpretationsschwierigkeiten sein Bewenden haben.

Anders verhält es sich mit der im Abschnitt 7.2 versuchten Ableitung thermischer Richtwerte aus der phänochronischen Karte (Phase 'b'). Hier mußte, bei der grundsätzlichen Bedeutung des Divergenzeffektes für die standörtliche Interpretation phänochronischer Karten, eine Berücksichtigung zumindest angestrebt werden. Das kann einerseits dadurch geschehen, daß, in bestmöglicher Anpassung an das Feld der Beziehungspunkte, eine *n i c h t - l i n e a r e* Regressionslinie gefunden wird. Bei nur 15 bis 16 Wertepaaren, wobei Klimadaten nur für den phänochronischen Bereich -3 bis +5 Tage vorlagen, war ein solches Vorgehen indessen nicht durchführbar. Es wurde daher versucht, ausgehend von den schematisch vereinfachten Verhältnissen der Abb. 20, eine Zuordnung der durch das Strahlenbündel gegebenen Standortstufen zu den Stufen der Zeitskala (Isochronen) vorzunehmen. Standort- und Zeitstufe erhielten *d o r t* den gleichen Zahlenwert, wo der Abstand benachbarter Standortstufen auf der Waagerechten durch Phase 1 (b) gerade einen Tag beträgt. Das ist Abb. 20 zufolge etwa am 3. Juli der Fall. Da der Bezugsstandort die Phase 1 am 6.7. zeigte, ist es also die Isochrone +3 Tage, welche hier mit der Standortstufe +3 zusammenfallen muß. Nunmehr lassen sich, wiederum auf der Horizontalen durch den Ordinatenwert 1, zeitgleiche Skala und thermisch definierte Standortskala unmittelbar miteinander vergleichen. Das Ergebnis ist in Abb. 21 zur Darstellung gelangt. Inwieweit die so ermöglicht Umsetzung der Zeitstufen in Standortstufen im vorliegenden Fall eine reale Verbesserung bedeutet, wird im Abschnitt 7.2 untersucht.

Wie bereits festgestellt, wies die Witterung während des 1967er Aufblühzeitraumes nur geringfügige Schwankungen auf. Für die Zeitreduktion auf die zu kartierenden Blühphasen erübrigte sich eine den Witterungsgang berücksichtigende Korrektur (s. 5.3.4). Indessen vermag der Witterungsgang noch auf andere Weise die Ergebnisse der phänologischen Untersuchung zu beeinflussen. Dies läßt sich am besten an Hand eines Schemas zeigen (Abb. 22).

Beziehung zwischen Zeit- und Standort=
stufen bei der durchschnittlichen phänologischen
Divergenz für *Tilia euchlora* 'b' 1967

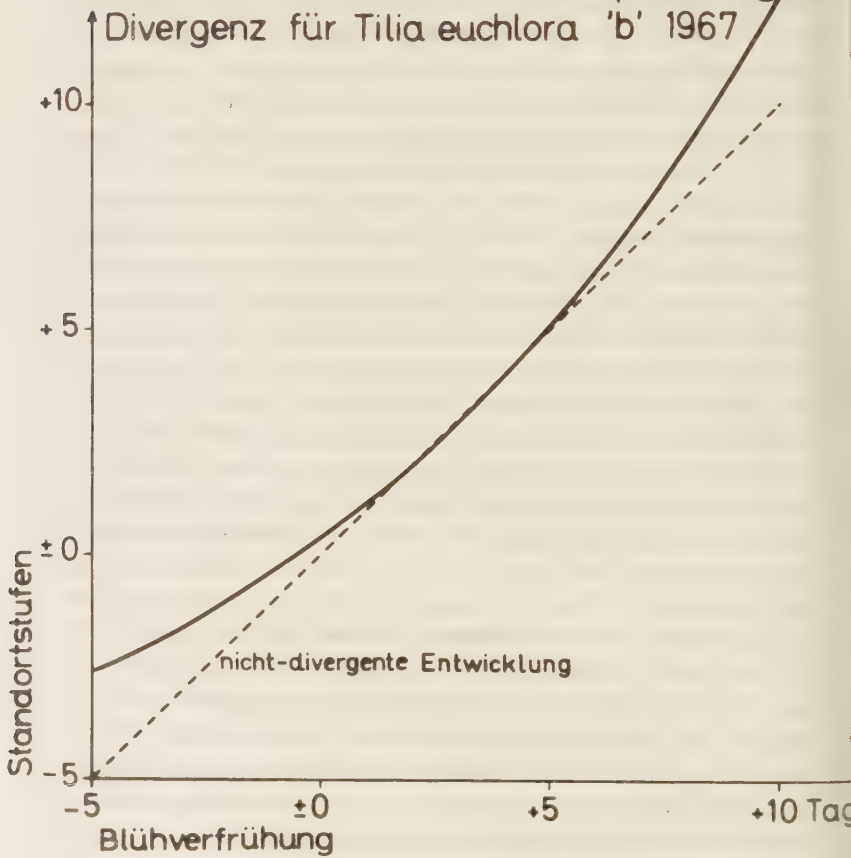


Abb. 21

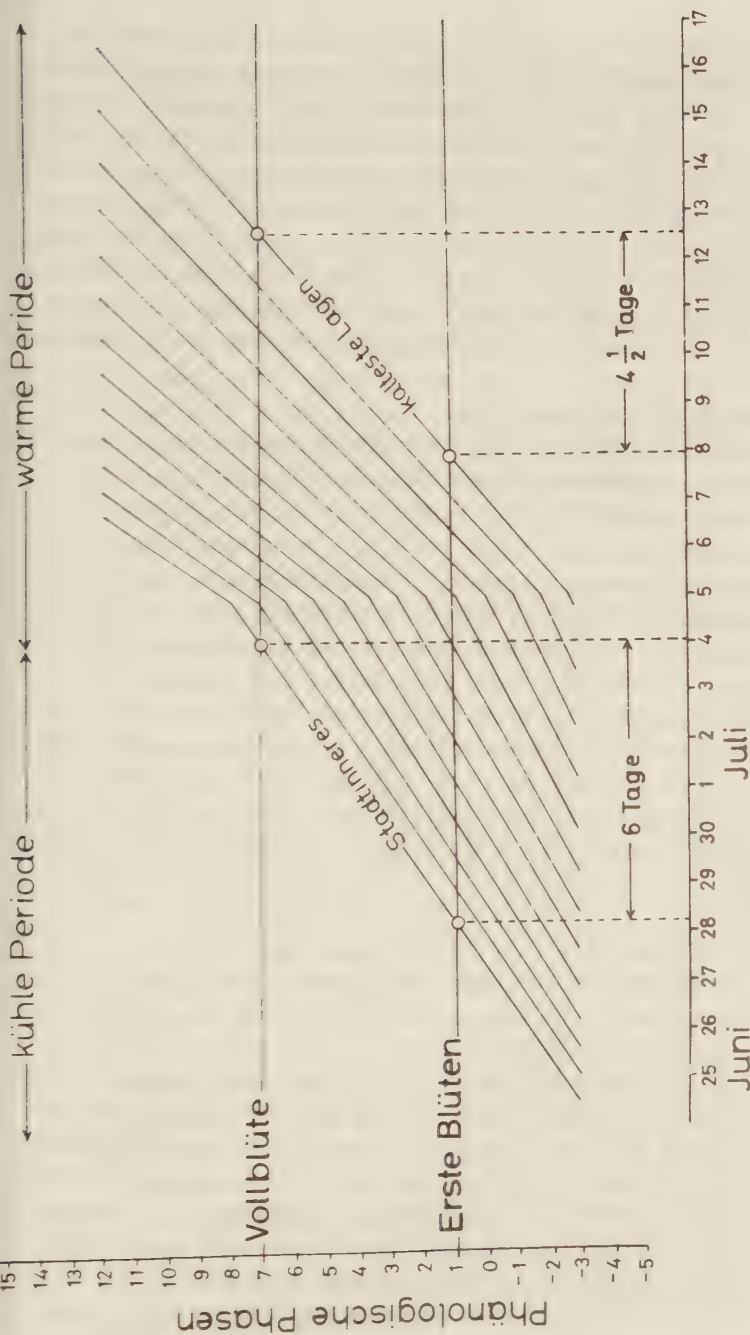


Abb. 22 Temperaturgleich gestufte Standortserie: theoretische Blühentwicklung bei Aufeinanderfolge unterschiedlicher Witterungen

Hierbei wurde Abb. 20 abgewandelt und zwar unter der Maßgabe, daß innerhalb der Aufblühperiode eine relativ zu kalte und eine überdurchschnittlich warme Periode aufeinandergefolgt sind. Wiederum entsprechen die Intervalle zwischen den Kurvenzügen des Strahlenbündels den thermisch definierten Standortstufen. Es wurde von der Voraussetzung ausgegangen, daß die Kurven während des ersten, kühleren Abschnittes (bis 5. Juli) eine um $33 \frac{1}{3}\%$ geringere, während des folgenden wärmeren Abschnittes eine um den gleichen Betrag größere Steigung als die betr. Kurven der Abb. 20 aufweisen. Zwei für die Beurteilung phänochronischer Verteilungen wichtige Feststellungen lassen sich dem Schema entnehmen. Zum einen - und dies wurde in den beiden der Hauptuntersuchung vorangegangenen Jahren auch direkt bestätigt gefunden - kann der Aufblühvorgang bei einer bestimmten Witterungsabfolge durchaus einmal im innerstädtischen Bereich langsamer verlaufen, als im Bereich der kälteren peripheren Lagen. Zum anderen bedingt der Witterungssprung eine charakteristische Veränderung des Isochronenfeldes gegenüber den Verhältnissen bei gleichmäßigem Witterungsablauf. So verändert sich z.B. die Zeitspanne, während der eine bestimmte Phase von der Innenstadt bis zu den kältesten Lagen des Gebietes fortschreitet. Bei den späteren Blühphasen ist dieser Effekt am stärksten ausgeprägt.

So ergibt sich bei der betr. Witterungsfolge für die Phase 7 (Vollblüte) eine Spanne von nur 8 Tagen gegenüber 14 Tagen bei gleichmäßiger Witterung. Für den hier nicht dargestellten umgekehrten Fall - warme Periode der kalten vorausgehend - ergibt sich eine noch größere Spanne, nämlich 20 Tage. Auch für die Phase 1 (Erste Blüten) lassen sich noch relevante, wenngleich bedeutend geringere Differenzen konstatieren. Die entsprechenden Zeitspannen lauten 10, 12 und 14 Tage. Neben diesen quantitativen erfährt das Gradientenfeld aber auch qualitative, witterungsbedingte Veränderungen. Während der wärmeren Periode folgen die Standortskurven im Zeitmaß-

stab dichter aufeinander. Das ist gleichbedeutend mit einem relativ größeren Abstand der betr. Phäno-Isochronen in der Karte. Das Entgegengesetzte gilt für den Einfluß relativ kühler Witterung während des Aufblühens. Um den Effekt der 1967er Witterung auf das phänochronische Kartenbild zu prüfen, sind in Tab. 19 die zweitägigen Temperaturmittel (Vortagswerte) der jeweiligen Intervalle sowie deren jeweilige prozentuale Abweichungen, bezogen auf die Mitteltemperatur (Dahlem) der fünf erfaßten Zweitageintervalle, zusammengestellt worden.

Tabelle 19 Temperaturmittel (Vortagswerte) zwischen
jeweils benachbarten Phänochronen
(Werte der Station Dahlem)

Intervall (Tage)	Karte 1 (Erste Blüten)		Karte 2 (Vollblüte)	
	t_{2d} (°C)	Abw. (%)	t_{2d} (°C)	Abw. (%)
+8 / +6	17,2	-4	17,6	-1
+6 / +4	16,8	-6	16,6	-6
+4 / +2	20,7	-16	18,4	+4
+2 / ±0	15,9	-11	15,5	-13
±0 / -2	18,9	+6	20,5	+16
Mittel: <u>17,9</u>		Mittel: <u>17,7</u>		

Die maximale Abweichung von 16% entspricht bei Isochronen im Zweitageabstand einem Zeitfehler von ca. einem drittel Tag. Im Hinblick auf die Gesamtspanne mag dies geringfügig erscheinen. Jedoch bewirken derartige Fehler örtliche Verzerrungen des Gradientfeldes, so daß sich dessen Feinheiten nicht ohne entsprechende Korrekturen interpretieren lassen. Das gilt besonders dann, wenn, wie im vorliegenden Fall, einander benachbarte

Intervalle hohe Abweichungsprozente von entgegengesetztem Vorzeichen aufweisen.

Man kann nicht erwarten, daß diese Zusammenhänge sich in den phänologischen Karten von 1967 unmittelbar erkennen lassen. Nirgends ist ein Intervall durchgängig schmaler als das ihm benachbarte. Daraus zu schließen, der relative Abstand der Isochronen sei vom zwischenzeitlichen Temperaturmittel nicht betroffen, wäre jedoch irrig. Vielmehr dominieren die lokalen Unterschiede des Stadtgeländes, so daß systematische Abweichungen vielfach nicht in Erscheinung treten können. In Karte 1 (Phase Erste Blüten) wäre theoretisch zu erwarten gewesen, daß sich das Intervall $+4/\pm 2$ Tage gegenüber dem Intervall $+2/\pm 0$ Tage als durchschnittlich breiter erweist. Aber auch dort, wo sich das bestätigt findet, wie etwa weithin im Grenzbereich der Stadtteile Zehlendorf und Dahlem gegen den Forst Grunewald, darf man darin nicht unbesehen den Witterungseinfluß erkennen wollen, sondern muß sich vor Augen halten, daß auch der Standort sich selten über eine längere Strecke im Gelände entfernungsproportional verändert.

Zusammenfassend ist zu sagen, daß die in einem bestimmten Jahr in einem definierten Gebiet angetroffene zeitliche Verteilung einer Blühphase das Ergebnis von standortsbedingten und witterungsbedingten Faktoren darstellt, deren Zusammenwirken man als phänologische *I n t e r - f e r e n z* bezeichnen kann. Dabei kommt neben den von der Pflanze über eine längere Vorbereitungsperiode hinweg integrierten Wirkungen auch den der Kartierungsphase unmittelbar vorausgegangenen Witterungsverhältnissen Bedeutung zu. Ein Wechsel der meteorologischen Bedingungen während der Blühzeit kann an unterschiedlichen Stellen des Untersuchungsgebietes zu stärkeren bzw. schwächeren Gradienten führen, die entsprechende Standortsverhältnisse jedoch nur vortäuschen. Eine ähnliche, aber stetig verteilte Gradientenveränderung wird durch die standortsklimatischen Differenzen selbst hervorgerufen.

rufen, wofür hier der Terminus Phänologische *D i v e r -*
g e n z vorgeschlagen wird.

Alle genannte Schwierigkeiten fallen bei synchroner Darstellung der Ergebnisse weg. Bei Verwendung einer quasi-homochron gestuften phänologischen Skala ist dann das Kartenbild unmittelbar standörtlich repräsentativ. Diese Vorteile lassen sich aber bei heterochroner Aufnahme nur indirekt, durch mit hoher Unsicherheit behaftete Korrekturen erzielen. Angesichts der unter 5.1.3 aufgeführten schwerwiegenden Nachteile des synchronen wie des homochronen Verfahrens bei der *A u f n a h m e* eines größeren Stadtgebietes bleibt die Darstellung in Isochronenform die derzeit noch am ehesten befriedigende Methode, sofern die Interpretation der Ergebnisse mit der erforderlichen Kritik vorgenommen wird. Letzteres gilt insbesondere für die Benutzung der phänochronischen Verteilung als Hilfsmittel zur standörtlichen Differenzierung.

5.4 Ergebnisse und Diskussion (Interpretation der phänologischen Karten)

5.4.1 Die Karte "Tilia euchlora, Erste Blüten"

Wie nicht anders zu erwarten war, stimmen die Verteilungsbilder der beiden kartierten Blühphasen in ihren wesentlichen Zügen überein. Die Besprechung der phänologischen Verhältnisse im Stadtgebiet von Westberlin kann sich daher zunächst auf *e i n e* der beiden Karten stützen. Die Phase Erste Blüten wurde ausgewählt, da deren zeitliche Abfolge in der Stadt, wie noch zu zeigen sein wird, eine engere Beziehung zu meteorologischen Parametern aufwies als die Phase Vollblüte. Hinsichtlich feinerer Unterschiede zwischen beiden Karten wird auf den übernächsten Abschnitt verwiesen.

Schon ein erster Blick auf die Karte läßt erkennen, daß

sich in den phänologischen Verhältnissen die Verteilung der Siedlungsgebiete deutlich widerspiegelt. Die Umrissse der aus einer Vielzahl von Siedlungskernen zusammengewachsenen Stadt sind leicht zu erkennen. Ausgehend von dem um das zentrale Grüngelände des Tiergartens und den Ostberliner Bezirk Mitte gelegenen Ring dichtester Wohnbebauung erstrecken sich radiale Verdichtungsbänder zur Peripherie. In ihrem Verlauf reihen sich alte und neue Agglomerationen, wie sie sich entlang von Bahnlinien und Ausfallstraßen zumeist an alte Dorfkerne kristallisiert haben. Die Topographie dieser Bänder wird recht gut durch die Isochrone +4 Tage nachgezeichnet.

In dem hier untersuchten Westberlin (etwa 54% der Fläche Großberlins) lassen sich ganz grob vier solcher Siedlungszüge unterscheiden. Zwischen ihnen stoßen drei große Buchten schwach besiedelten und tlw. von Wald eingenommenen Landes weit gegen das zentrale Stadtgebiet vor. Die wenig kompakte, eher zerklüftet zu nennende Gestalt der innerstädtischen Wärmeinsel - hier als phänologisches Frühgebiet erkennbar - beruht sichtbar mit auf diesem Umstand. Nicht unbeträchtlich tragen auch die größeren innerstädtischen Freiflächen mit ihrem austauschbedingten Randeffect (s.u.) zur Auflösung der Wärmeinsel bei. Hier sind z.B. der Tiergarten, der Flughafen Tempelhof und das Kleingartengelände im Süden des Bezirkes Schöneberg zu nennen.

Das größte zusammenhängende Frühgebiet umfaßt die Gebiete geschlossener Bebauung der Bezirke Charlottenburg, Wilmersdorf und Schöneberg innerhalb des Berliner S-Bahn-Ringes. Hier werden auch, mit 10 Tagen Verfrühung gegen Freiland, die höchsten Werte innerhalb Westberlins erreicht. In der Originalkarte findet sich darüberhinaus je ein Punkt mit dem Wert +11 und +13; Doch handelt es sich hierbei um Ergänzungsbeobachtungen an *Tilia tomentosa*. Die extremen Werte dürften somit der höheren Datenstreuung zuzuschreiben sein, die sich aus dem Transformationsverfahren sowie aus den abweichenden Eigen-

schaften der Ergänzungs-Testpflanze ergibt. Selbst Blühverfrühungen von 10 Tagen sind noch mit Vorsicht zu beurteilen. Man kann annehmen, daß diese Werte größtenteils auf speziellen mikroklimatischen Gegebenheiten beruhen. Die hohen Streuungsbeträge in den betr. Gebieten (Tab. 18 oben) bestätigen die Vermutung, doch fehlt es hier noch an exakten Daten. Es konnte allerdings vielfach beobachtet werden, daß Bäume an sehr verkehrsreichen Kreuzungen gegenüber abgelegeneren, aber hinsichtlich ihrer Strahlungsexposition gleichbegünstigten fast durchwegs frühere Aufblühdaten zeigen. Man könnte hierin eine direkte thermische Auswirkung der Motorwärme und heißen Abgase der vielen Fahrzeuge erblicken. Wenngleich, wie gesagt, 10 Tage Blühvorsprung gegenüber dem als Vergleichspunkt gewählten "Freiland"-Standort unter mesoklimatischen Aspekten zu hoch gegriffen sein könnten, ist ein solcher Betrag, bezogen auf einen wirklich repräsentativen, d.h. u.a. vom thermischen Stadteinfluß freien Ort der Stadtumgebung wohl als reell zu betrachten. Hierzu ist anzumerken, daß das Jahr 1967 einen etwa normalen Witterungsverlauf vor und während der Blühperiode von *Tilia x eu-chlora* hatte.

Vielleicht sollte man sich diese Phasendifferenz (die natürlich für andere Testpflanzenarten eine wesentlich andere sein kann - vgl. Tab. 1) merken. Es handelt sich ja hier n i c h t um Unterschiede zwischen Extremstandorten, sondern ausdrücklich um normale innerstädtische und normale Freilandverhältnisse. Wahrscheinlich werden solche Differenzen in nicht allzuferner Zeit historisch anmuten. Bei einer Fortdauer des gegenwärtigen Tempos der Landschaftszersiedlung muß sich der Begriff des klimatisch repräsentativen Standortes zwangsläufig wandeln, und der Terminus "Freiland", dem bisher wenigstens noch eine hypothetische Bedeutung zukommt, dürfte dann sinnlos geworden sein.

An der Grenze der geschlossenen Bebauung werden auf der Karte im allgemeinen etwa 5 Tage Blühverfrühung angetrof-

fen. Kleinere Exklaven der betr. Struktur können auch von der Isochrone +4 Tage begrenzt sein. Während städtisch besiedeltes Land normalerweise eine relative Vorverlegung des Blühtermins aufweist (das gilt z.B. auch für lockere Einzelhaussiedlungen), finden wir in Waldgebieten und deren Nähe und tlw. wieder in Lockersiedlungen, insbesondere Waldsiedlungen, nicht selten relative Blühverspätungen. Diese können auf begrenzten, orographisch ausgezeichneten Flächen mehr als zwei Tage betragen. Während es sich dabei meist um kleinräumige Erscheinungen, etwa des Kaltluftfließens im Zusammenhang mit der Abkühlungswirkung transpirierender Vegetationsdecken, handeln dürfte, kommen so späte Termine auch großflächig vor und zwar nur im äußersten Norden Berlins. Hier erstreckt sich ein Gebiet mit relativen Blühverspätungen von zwei Tagen und mehr bis in die Waldsiedlung Frohnau hinein. Man wird diese Verhältnisse nicht leicht als durch die orographische Situation bedingt erkennen, betrachtet man die betr. Flächen isoliert. Erst in einem größeren Zusammenhang, als Teil der Abdachung der Barnim-Hochfläche zum Warschau-Berliner Urstromtal lassen sich die nördlichen und nordöstlichen Teile Westberlins in ihrer thermoklimatischen Sonderstellung einigermaßen verstehen. Es mag überraschen, wenn für diese das nächtliche Einfließen von Kaltluft von der Hochfläche her verantwortlich gemacht wird. Es müßte diese Bewegung in breitem Strome vor sich gehen, wobei lokale Barrieren überwunden werden. Lokale Verstärkungen dieses Effektes, wie sie vom Tegeler Fließtal bekannt sind, stehen hierzu nicht im Widerspruch. Zwar ist dieses Gebiet von dem nördlichen Extremgebiet durch phänologisch frühere Flächen getrennt, doch zeigt der Vergleich der letzteren mit ähnlich strukturierten Flächen des Berliner Südens, daß auch das S i e d l u n g s - g e b i e t im Bereich der Abdachung relativ verspätete Termine aufweist.

Die richtige phänologische Einschätzung der für Berlin so charakteristischen, in das Weichbild der Stadt einbe-

zogenen Waldgebiete wird erschwert durch den Umstand, daß die in vorliegender Untersuchung verwendete Testpflanze in ihnen weder als Forstbaum noch als Bestandteil der natürlichen Gehölzartenkombination vorkommt. Relativ am besten mit Testbäumen ausgestattet ist noch der im Südwesten der Stadt gelegene Grunewald - mit ca. 30 qkm Fläche das ausgedehnteste städtische Waldgebiet. Seine Phänologie wird in der Karte durch 5 Einzelstandorte von *Tilia x euchlora* sowie eine etwa 1 km lange Straßenbepflanzung derselben Art belegt.

Die hiernach gezeichneten Isophanen lehnen sich unter Berücksichtigung von Ergebnissen zweier nächtlicher Temperaturmeßfahrten grob an den Verlauf der Höhenlinien an, wobei die größeren Erhebungen, durch relativ hohe Nachttemperaturen ausgezeichnet, sich auch phänologisch als Frühgebiete nachweisen ließen. Die Ergebnisse der Temperaturmessungen lassen ferner darauf schließen, daß sich diese Frühgebiete seewärts bis herunter zum Wasserspiegelniveau erstrecken. Als phänologisch verspätet dürften dagegen große Teile der zur Havel parallel verlaufenden sogenannten Westlichen Grunewaldseerinne anzusehen sein, innerhalb der die nächtlichen Temperaturen um etwa 7 Grad niedriger lagen als auf den havelseitig benachbarten Höhen, die sich im Havelberg bis zu 67 Meter über den Spiegel der Havelseen erheben.

Es liegt nun nahe, in den anderen, phänologisch mangelhaft belegten Waldgebieten eine analoge Verteilung anzunehmen und die Isodronen entsprechend einzutragen. So wurde im Bereich der glaziären Hochflächen (Teltow, Nauener Platte) auch vorgegangen. Die Wälder des nördlichen Stadtgebietes, insbesondere der Spandauer Forst und der Forst Tegel, sind jedoch im Bereich des Warschau-Berliner Urstromtales gelegen und in mancher Hinsicht von den Wäldern der Moränenflächen unterschieden. Somit ist eine schematische Übertragung der bei den letzteren vorgefundenen Verteilung nicht angezeigt. Für den Spandauer Forst, in dem sich kein Beobachtungspunkt befindet, liegt die

Angabe von RIECKE (1960) vor, daß für eine größere Zahl von Gehölzen "im Niederwaldgebiet für die Beobachtungsjahre 1952 bis 1954 die Termine der Knospenentfaltung durchschnittlich 10 Tage später als in den übrigen Teilen der Stadforst" lagen. Hierbei ist mit Niederwald der im nordwestlichen Teil des Gebietes großflächig vorkommende Erlen-Stieleichenwald gemeint.

Diese erstaunlich hohen phänologischen Differenzen dürften sich mehr oder weniger auf die hier mitgeteilten Frühjahrsphasen beschränken, bei denen sich noch das winterliche Kältereservoir der grundwassernahen Gley- und Anmoorböden des Niederwaldes auswirkt. Es ist wenig wahrscheinlich, daß im Spandauer Forst die sommerlichen Phasen stärker differieren, als die von Waldgebieten mit ausgeprägtem Relief. Davon ausgehend und bei Berücksichtigung der phänologischen Werte der dem Forst zunächst gelegenen Krimlinden des Spandauer Stadtrandes, kommt man zu dem in der Karte wiedergegebenen Verteilungsbild. Die Isophane -2 Tage begrenzt dabei den von RIECKE als Niederwald angegebenen Abschnitt nach Süden und Osten. Das im Nordosten des Spandauer Forstes gelegene Teufelsbruch dürfte dem nordwestlichen Spätgebiet nicht nachstehen und wurde wie jenes als um wenigstens zwei Tage gegen den Bezugspunkt verspätet eingestuft.

Der Forst Tegel erstreckt sich am Westufer des Tegeler Sees entlang und erreicht im Norden zwischen Heiligensee und der Waldsiedlung Frohnau die Stadtgrenze. Ihm fehlen im wesentlichen grundwassernahe Standorte, wie sie für weite Teile des zuvor besprochenen Gebietes charakteristisch sind. Zwar muß der südliche Abschnitt noch dem Urstromtal zugerechnet werden, jedoch ist er, wie auch der zur Barnim-Hochfläche hin flach ansteigende Nordteil, von Dünenzügen reich gegliedert. In den Rinne- und Mulden zwischen ihnen können sich je nach Geländeform und Größe des Einzugsgebietes temporäre Kaltluftansammlungen bilden, welche erfahrungsgemäß eine Blühverzögerung der dort etwa anzutreffenden Testbäume be-

wirken. (Es scheint, als ob das bekannte, auch phänologisch zu belegende Kältegebiet im Tal des Tegeler Fließes seinen extremen Charakter, abgesehen von den o.a. weiträumigeren Einflüssen, daher gewinnt, daß gerade an dieser Stelle eine solche Kaltlufttrinne mit großem Einzugsgebiet in das Fließtal einmündet). Die Blühverspätung dürfte zwischen den Dünenzügen lokal 2 Tage unterschreiten, was auch durch einige ähnlich exponierte Beobachtungspunkte am Rande des Forstes nahegelegt wird. Die Spätgebiete wurden im wesentlichen nach der Höhenlinienkarte ermittelt.

Wenngleich die phänologischen Verhältnisse des Tegeler Forstes denen des Grunewaldes ähnlicher erscheinen als denen des Spandauer Forstes, so darf nicht übersehen werden, daß seine höchsten Erhebungen die des Grunewaldes weder an Höhe noch an horizontaler Ausdehnung erreichen. Es wurde daher davon abgesehen, sie wie jene als phänologisch frühe Gebiete hervorzuheben. Wiederum dürfte jedoch ein mehr oder weniger breiter Landstreifen entlang der Seeufer positive phänologische Relativwerte aufweisen.

Für die Jungfernheide, ein kleineres Waldgebiet, im Süden Tegels gelegen und an das südliche Ufer des Tegeler Sees grenzend, liegen einige phänologische Beobachtungen vor und ermöglichen die Einschätzung. Blühverspätungen von bis über zwei Tagen müssen auf Grund von Temperaturmessungen (SCHULZE 1969) für ihren Ostteil angenommen werden.

5.4.2 Austauschphänomene im Stadtraum

Sucht man in der Karte der Phase Erste Blüten jene Stellen, an denen besonders starke Gradienten vorkommen, so ist zunächst festzustellen, daß sich diese nicht in geschlossenen Bändern anordnen, sondern daß es sich immer nur um Erscheinungen relativ begrenzter Ausdehnung handelt. Sie finden sich an verschiedenen orographisch ausgezeichneten Stellen der peripheren Gebietsteile sowie

andererseits dort, wo Siedlungsflächen hoher Bebauungsdichte unmittelbar an Grünflächen, Kleingartengelände etc. grenzen.

Die maximalen Gradienten, in mesoklimatischer Betrachtung, liegen etwa bei zwei Tagen pro 100 Meter. Die Tiefe von Gradientefeldern dieser Stärke (Erstreckung in Richtung des Gradienten) ist meist nur gering - nur ausnahmsweise werden 500 Meter überschritten. Gelegentlich kann es sogar vorkommen, daß solche Gegebenheiten bei einer Isochronendichte von zwei zu zwei Tagen im Kartenbild nicht in Erscheinung treten. Das ist z.B. dort der Fall, wo der Berliner Zentralflughafen (Tempelhof) auf seiner Ostseite unmittelbar an ein Siedlungsgebiet von geschlossener Bauweise grenzt. Der betr. vergrößerte Ausschnitt aus Karte 1 ist im unteren Teil von Abb. 23 zu erkennen. Anstelle der hier fortgelassenen Isochronen wurden die reduzierten örtlichen Beobachtungsdaten wiedergegeben. Während dem Isochronenbild der Karte 1 nur ein Gradient von weniger als einem Tag pro 100 Meter zu entnehmen ist, zeigt ein Blick auf die Einzeldaten, daß die Bäume mit drei und fünf Tagen relativem Phasenvorsprung nur wenig mehr als 100 Meter voneinander entfernt sind, der Gradient hier also fast den doppelten Betrag aufweist.

Allgemein sind in unmittelbarer Nähe markanter Grenzflächen die phänochronischen Gradienten deutlich verstärkt. Die geringe Tiefe solcher Maximalgradientfelder bestätigt den schon vorher festgestellten engen Zusammenhang zwischen der Anordnung der Baumassen und der Temperaturverteilung in einer Stadt. Es wäre aber voreilig, wollte man hieraus das Fehlen weiterreichender Wechselwirkungen zwischen thermisch gegensätzlichen Stadtstrukturen folgern. KRATZER (1956) hat insbesondere auf den Zusammenhang zwischen Stadtgröße und Temperaturdifferenz Stadt-Land hingewiesen. Demgegenüber führt CHANDLER (1960) hierauf deutende Meßdaten auf Veränderungen im Umkreis der Meßstationen sowie auf Auswirkungen des säkularen Temperaturtrends und Klimaschwankungen kürzerer Periode zurück.



Abb. 23 Austauschphänomene zwischen benachbarten
unterschiedlichen Stadtgeländetypen:
relative Blühdaten von *Tilia euchlora*
(Verfrühung gegen Freiland. Dimension: Tage)

Er verweist dabei auf den überraschend großen thermischen Effekt selbst dicht gebauter Dörfer. Auf Grund der von ihm durchgeführten Temperaturmeßfahrten im Gebiet von Groß-London kommt, in einer späteren Arbeit (1964), der Autor zu dem Schluß, daß "die durchschnittliche Intensität der Wärmeinsel ... keineswegs eine Funktion der Stadtfläche" sei. Nicht das horizontale Wachstum der Städte vergrößere den städtischen Erwärmungseffekt, sondern die mit diesem Wachstum einhergehenden strukturellen und funktionellen Veränderungen am Ort. Ferner : "Könnte man die kleine Fläche der Londoner City mit ihren zwischen massive Bürohausblöcke eingeschnittenen luftegefüllten Schluchten als Ganze in eine ländliche Region ... versetzen: ich bezweifle, daß sich daraus eine größere Veränderung in der durchschnittlichen Intensität ihrer Wärmeinsel ergäbe".

Nun mag in der Tat der Eindruck eines Zusammenhanges zwischen Stadtausdehnung und Erwärmungseffekt vorwiegend darauf beruhen, daß mit der horizontalen Dimension einer Stadt auch ihre innere bauliche Dichte zuzunehmen pflegt. Für die Prüfung des Wahrheitsgehaltes der hier referierten gegensätzlichen Auffassungen wäre es daher wünschenswert, die Verteilung der Baumassen in einem klimatologisch oder phänologisch untersuchten Gebiet genauer zu kennen. Leider sind die auf den Karten verzeichneten Flächen mit geschlossener Bebauung nicht von vornherein untereinander vergleichbar. Sie umfassen nämlich Gebiete mit Geschosßflächenzahlen zwischen 0,9 und 1,5 - entsprechend 3- bzw. 5-geschossiger Bauweise, bei einer bebaubaren Fläche von 30%. Zur Beurteilung von phänologischen Unterschieden wäre daher am besten eine Karte der aktuellen Baumassenverteilung zu unterlegen. Abgesehen davon, daß diese Verteilung ständigen Veränderungen unterworfen ist, hätte in diesem Falle auf Karten des Maßstabes 1 : 4000 oder gar 1 : 1000 zurückgegriffen werden müssen, deren Auswertung zu viel Zeit in Anspruch genommen hätte. Lediglich der Baunutzungsplan von 1961 im Maßstab 1 : 50 000 (Deutscher Planungsatlas, Atlas von Berlin)

konnte herangezogen werden. Dieser gibt jedoch nicht den Stand zu einem bestimmten Zeitpunkt, sondern die zulässigen und angestrebten Dichten wieder.

Es war daher lediglich möglich, in einigen exemplarischen Fällen ein Urteil auf Grund genauerer Ortskenntnis abzugeben. Das betrifft z.B. den schon erwähnten, zum Bezirk Neukölln gehörigen Raum im Osten des Zentralflughafens (Abb. 23). Hier handelt es sich um ein Altbaug Gebiet ziemlich einheitlicher Geschoßzahl (5). Diese wird auch in dem zentralen phänologischen Frühgebiet (Charlottenburg-Wilmersdorfer Altbaug Gebiet) kaum überschritten, so daß ein Vergleich sinnvoll erscheint.

Das zentrale Neukölln zeigt einen Entwicklungsvorsprung von ca. 7 Tagen gegen den Bezugspunkt. Die phänochronischen Daten des Vergleichsgebietes liegen dagegen bei etwa 9 Tagen relativer Blühverfrühung. Hier dürfte denn doch die horizontale Ausdehnung der Gebiete selbst von Einfluß sein, wie immer man sich auch den ursächlichen Zusammenhang vorstellen mag. Das zusammenhängende 5-geschossig bebaute Altsiedlungsareal im Gebiet Charlottenburg-Wilmersdorf ist wesentlich ausgedehnter und geht auch nicht so unvermittelt in offenes Gelände über, wie das für die entsprechende Neuköllner Fläche der Fall ist, wo außer dem Flughafengebiet und dem Volkspark Hasenheide im Westen noch die ausgedehnten Kleingartenflächen und Parkanlagen (Plänterwald, Treptower Park) des Spreetales im Osten zu nennen sind, ferner im Süden der von den Friedhofsanlagen gebildete Grünriegel. Nirgendwo im 5-geschossigen Neuköllner Altbaug Gebiet beträgt der Abstand zu wenigstens einer Teilfläche des umgebenden Grüns viel mehr als einen halben Kilometer. Der entsprechende Wert für das zentrumsnahe Vergleichsgebiet beträgt etwa 1 1/2 bis 2 Kilometer.

Es scheint demnach, daß man, neben dem viel auffälligeren Austauschereffekt im Nahbereich der Grenzlinie, auch eine Fernwirkung der entsprechenden autochthonen Klimate

in Rechnung setzen muß. Das wird noch deutlicher bei Betrachtung des umgekehrten Falles, nämlich der klimatischen Wirkung umgebender Bebauung auf eine größere Grünanlage. Als Beispiel sei hier Berlins zentrales Grüngelände, der ca. 250 ha große Tiergarten aufgeführt (Abb. 23, oberer Teil). An seiner schmalsten Stelle etwa 750 m, sonst meist etwa einen Kilometer breit, weist er in seinen inneren Teilen gegenüber dem Bezugspunkt noch eine Verfrühung von zwei Tagen auf, obwohl sein autochthones Klima etwa dem von typischen Freilandstandorten der Berliner Umgebung entsprechen dürfte. Allein auf Grund der Vegetationsmenge und -verteilung muß für den Tiergarten sogar eher eine durchschnittlich größere Kaltluftproduktion angenommen werden, die sich jedoch infolge Vermischung mit angrenzenden wärmeren Luftkörpern phänologisch nicht voll auswirken kann.

Die hier an zwei Gebietsteilen demonstrierten Verhältnisse sind nicht überall in gleicher Klarheit wiederzufinden. Das hat seinen Grund in der meist recht komplizierten Verzahnung baulicher Strukturen im Stadtbereich. So war es auch nicht möglich, aus dem Datenmaterial ein allgemeines Modell des klimatisch-phänochronischen Übergangsfeldes zwischen hinsichtlich ihres autochthonen Klimaanteils unterschiedenen, aneinandergrenzenden Oberflächen abzuleiten. Die Ausrichtung der Grenzlinie zur Hauptwindrichtung wird bei einem derartigen Versuch in Betracht zu ziehen sein. Der niedrige Wert von nur drei Tagen Blühverfrühung am Ostrand des Tempelhofer Flugfeldes (die Bäume sind sogar einige Meter siedlungsseitig der Grenzlinie, im Bereich der Querstraßen gelegen) könnte mit Vorsicht als ein solcher Orientierungseffekt gedeutet werden. Zunächst möchte man ja für einen Ort an der Grenze zweier hinsichtlich ihrer klimabildenden Eigenschaften unterschiedener Gebiete ein in Bezug auf beide i n t e r - m e d i ä r e s Klima erwarten, sofern die Windvektoren in beiden Richtungen einander entsprechen. Die Karte vermittelt freilich an einigen Stellen den Eindruck, daß Grenzlagenklimate allgemein mehr dem Klima der offeneren

Fläche angenähert sein könnten, die höheren Gradienten somit durchwegs mehr siedlungsseitig zu suchen wären. Die starke Behinderung des Luftaustausches in den Straßenschluchten und Höfen des dicht bebauten Stadtgeländes kann wohl am ehesten zur Erklärung dieses Effektes dienen.

5.4.3 Vergleich der zeitlichen Verteilung der Kartierungsphasen b und ab im Jahre 1967

Sofern während der Blühperiode relativ gleichmäßige Temperaturverhältnisse herrschen, hängt die Länge des Phasenintervalls von der Lage des Beobachtungspunktes im phänochronischen Gradientfeld Stadt-Umland ab (s. 5.3.5.2). Für 1967, wo ein solcher annähernd gleichmäßiger Temperaturgang zu verzeichnen war, traten in der Innenstadt erwartungsgemäß die kürzesten, in orographisch ausgezeichneten Lagen der Peripherie die längsten Intervalle zwischen den Phasen b und ab auf. In der Innenstadt lagen die betr. Werte bei drei und vier Tagen; die meisten Vorortsiedlungen sowie die Seeränder wiesen vier bis fünf, die Waldgebiete etwa fünf und die extremen Lagen etwa sechs Tage Zeitdifferenz auf.

Daß sich bei einer bestimmten Abfolge der Witterungen im Blühzeitraum die Verhältnisse völlig umkehren können, hatte schon eine Voruntersuchung im Jahre 1965 ergeben. Hier waren zu Beginn die Temperaturen unternormal, um dann aber, anfangs der zweiten Hälfte der Blühperiode, rasch über die Normalwerte hinaus anzusteigen, entsprechend dem Schema Abb. 22. Die Blühverlaufskurven zeigten alle einen markanten Knick zwischen dem 11. und 13. Juli. Das Intervall zwischen den Phasen b und ab betrug 1965 durchschnittlich sieben bis acht Tage in der Innenstadt und fünf bis sechs Tage in den Vorortsiedlungen Grunewald, Dahlem und Lichterfelde. Ähnlich lagen die Verhältnisse im Jahre 1966. Das ist, bei der nahezu unbegrenzten Zahl möglicher Witterungsabfolgen, wohl ein zufälliges Ergebnis. Ein dieser Tendenz entsprechender

Witterungsregelfall (Regularität) scheint jedenfalls nicht vorzuliegen.

Wenngleich somit auch feststeht, daß die Phasenintervalle nicht den geeigneten Parameter für die standörtliche Gliederung eines Gebietes abgeben, so lassen doch die besonders gleichmäßigen Witterungsverhältnisse zur 1967er Blühperiode eine räumlich differenzierende Betrachtung der beiden Karten sinnvoll erscheinen. Insofern dabei von dem durch die Isarithmen gegebenen Vetreilungsbild ausgegangen wurde, muß darauf geachtet werden, Fehler zu vermeiden, die beim Zeichnen der Isochronen leicht zustandekommen können. Bei vorgegebener Verteilung der kartierten Daten lassen sich, in gewissen Grenzen, voneinander abweichende Linienführungen mit Gründen vertreten. Werden zwei Karten, wie hier die der Phasen b und ab, unabhängig voneinander gezeichnet, so sind solche aus dem betr. Entscheidungsspielraum folgende Fehler dadurch auszuschalten, daß man den Isarithmenverlauf beider Karten abschnittsweise vergleicht und die Begründbarkeit jeder wesentlichen Abweichung an Hand der Originalwerte überprüft. (Das bedeutet freilich nicht, daß überall dort, wo zwanglos zuzuordnende Originalwerte fehlen, eine identische Linienführung vorgenommen wurde. In solchen Fällen lassen sich meist andere durch Originalwerte belegte Abschnitte mit ähnlicher standörtlicher Lage zur Beurteilung heranziehen.)

Die beiden in der genannten Weise vergleichbar gemachten Karten lassen sofort erkennen, daß sich das Gebiet mit mehr als 8 Tagen relativer Blühverfrühung zwischen den Phasen b und ab bedeutend ausgedehnt hat. Dies gilt auch, von wenigen Stellen abgesehen, für das weitere von der +6-Tage-Isochrone umschlossene Gebiet. In der hierauf nach außen folgenden Zone werden die Verhältnisse unübersichtlich.

Um auch hier quantitative Aussagen treffen zu können, wurde für einige typische Stadtbereiche die durchschnitt-

liche Blühentwicklungstendenz aus den reduzierten Beobachtungsdaten berechnet (Tab. 20). Nur etwa ein Drittel der insgesamt für das Untersuchungsgebiet vorliegenden Daten ist in die Berechnung eingegangen, da die meisten Beobachtungspunkte nicht eindeutig einer bestimmten Kategorie zuzuordnen waren. Die Zahl der jeweils auf eine Kategorie entfallenden Daten läßt sich ebenfalls der Tabelle entnehmen, ferner auch der Betrag der Streuung (einfache Standardabweichung), wie er sich für das jeweils zur Mittelwertbildung benutzte Datenmaterial ergibt.

Eine subjektive Komponente bei der Begrenzung der für eine Kategorie als typisch erachteten Flächen wird immer beteiligt sein. Es zeigte sich aber, daß man innerhalb eines weiten Ermessensspielraumes zu keinen nennenswert von der Tabelle abweichenden Ergebnissen gelangt.

Wie die Untersuchung der Mutungsbereiche überschläglich ergibt, sind Differenzen der Durchschnittswerte von etwa 0,3 Tagen und mehr auf dem 95%-Niveau gesichert, wenn die verglichenen Mittel auf jeweils rund 100 Einzeldaten beruhen. Wenn 20 Daten und weniger zugrundeliegen, können erst Differenzen von 0,6 Tagen und darüber die verglichenen Durchschnittswerte als unterschiedlichen Populationen angehörend erweisen, es sei denn, man läßt eine höhere Irrtumswahrscheinlichkeit zu. Zwischen einigen der hier tabellierten Durchschnittswerte von Stadtbereichen sind somit zweifellos signifikante Unterschiede der Aufblühgeschwindigkeit zu konstatieren.

Zunächst findet sich der schon unmittelbar aus dem Kartenvergleich gefolgerte raschere Blühablauf im Bereich der innerstädtischen Wärmeinsel bestätigt. Zieht man die Grünanlagen zunächst nicht in Betracht, so folgt an zweiter Stelle die Kategorie der mehr peripher gelegenen Gebiete dichter Bebauung mit signifikant langsamerem Aufblühen. Sodann folgen die mehr aufgelockerten Siedlungsformen (2- und 3-stöckige Zeilenbebauung), etwa gleichauf mit den Daten für die Einzelhaussiedlungen. Die statistische Analyse erlaubt keine Trennung der betr. Durch-

Tabelle 20 Relative Aufblüheswindigkeit
(Phase b bis ab) in charakteristischen
Stadtbereichen
 (Abweichung in Tagen gegen Bezugspunkt)

	Abweichung (Bereichs- durchschnitt)	Datenstreuung im Bereich (Standardabweichung) ()=Anzahl der herangezogenen Daten	
Dicht bebaute Innenstadt innerhalb des S-Bahnringes (ohne Grünanlagen etc.)	+0,9	±0,9	(92)
Dichte Bebauung außerhalb des S-Bahnringes incl.Se- kundärkerne	+0,4	±0,8	(98)
Zeilenbebauung(vorwiegend mittlere Zone)	+0,2	±0,8	(61)
Einzelhaussiedlung, - stadtkernnäher -	+0,1	±1,1	(14)
Einzelhaussiedlung, - stadtrandnäher -	+0,2	±0,9	(133)
Grünanlagen innerhalb des S-Bahnringes	+0,6	±0,4	(37)
Grünanlagen außerhalb des S-Bahnringes	-0,3	±1,1	(24)
Waldgebiete	±0,0	±0,8	(18)
Waldsiedlung Frohnau	+0,6	±0,6	(14)
Hermsdorf und Waidmannslust (locker bebaut)	-0,0	±0,7	(39)

schnittswerte.

Könnte aus den Daten für die fünf an erster Stelle tabellierten Kategorien ein Zusammenfallen der phänologisch frühen Gebiete mit den Gebieten höherer Aufblühgeschwindigkeit geschlossen werden, so zeigt die Betrachtung der drei folgenden Kategorien, daß dies nicht durchwegs gilt. So haben sowohl die peripher wie die zentral gelegenen Grünanlagen Anteil an der Blühentwicklungstendenz ihrer näheren Umgebung. Die innerstädtischen Grünanlagen scheinen selbst gegenüber den zentrumsferneren dichten Baustrukturen das höhere Aufblühtempo aufzuweisen. Demgegenüber waren für die peripheren Verdichtungsgebiete um bis zu drei Tagen frühere Termine des Blühphaseneintritts als für die zentralen Grünflächen ermittelt worden. Auch der Vergleich von Grünanlagen außerhalb des S-Bahnringes mit den allgemein als spät erwiesenen Waldgebieten zeigt ein derartiges inverses Verhalten der beiden Parameter. Bei den Grünanlagen ist sogar ein deutliches Zurückbleiben gegenüber den umgebenden aufgelockerten Baustrukturen zu bemerken (z.B. Schillerpark in Wedding, Rosenanger in Frohnau). Darüberhinaus kann freilich beim Vergleich mit Waldflächen ein Einfluß von Witterungsschwankungen hier nicht ganz ausgeschlossen werden, denn die spätesten Lagen konnten, wie Abb. 12 zu entnehmen ist, einen etwas höheren Wärmegenuß zur Blühzeit verbuchen als das übrige Gebiet.

Gewinnt man somit den Eindruck, als würde, nahezu unbeeinflusst von strukturellen Diskontinuitäten, ein Gefälle des Aufblühtempos vom Stadtzentrum zur Peripherie vorliegen, so zwingen die Ergebnisse einer Untersuchung in einem kleineren Gebiet im Norden Berlins zu vorsichtigerer Beurteilung der betr. Verhältnisse. Es handelt sich um den Vergleich zweier einander benachbarter Einzelhaus-siedlungen (in Tab. 20 zu unterst wiedergegeben), wobei in der Waldsiedlung Einzelbäume und Baumgruppen des dort ehemals vorhandenen Hochwaldes weithin erhalten geblieben sind. Die Ortsteile Hermsdorf und Waidmannslust sind

dagegen nahezu frei von Hochwaldresten und dürften auch insgesamt die bei weitem geringere Vegetationsmasse pro Siedlungsfläche besitzen. Während nun die Waldsiedlung zwar stets etwas spätere Blühtermine als die südlich anschließenden Ortsteile zeigt, geht in ihr der Aufblühvorgang deutlich rascher vonstatten als im Vergleichsgebiet. Der Unterschied ist signifikant auf dem 95%-Niveau. Das Blühtempo Frohnau entspricht laut Tabelle dem in Grünanlagen des innerstädtischen Bereichs festgestellten. Bemerkenswert ist auch das sehr viel schnellere Aufblühen im Vergleich mit dem angrenzenden, durch mehrere Beobachtungspunkte gut belegten Hochwaldgebiet. Eine befriedigende Erklärung für diese Phänomen konnte bisher nicht gefunden werden.

5.4.4 Nachtrag: Phänologische Aufnahmen der Blüte von *Tilia x euchlora* in den Jahren 1965 und 1966

Die beiden Aufnahmen wurden bereits im Zusammenhang mit den hierbei angetroffenen besonderen Witterungsbedingungen erwähnt. Die 1965er Aufnahme beruhte auf nur 112 Beobachtungsstellen. Zudem waren die Testbäume noch nicht im voraus festgelegt worden. Ein Beobachtungspunkt umfaßte häufig einen Straßenabschnitt. Große Teile des Stadtgebietes waren noch völlig ohne Beleg. Auch das 1966er Beobachtungsnetz war mit ca. 370 Beobachtungsstellen noch erheblich weitmaschiger als das der hier hauptsächlich behandelten 1967er Aufnahme.

Das Kartierungsverfahren in den beiden Voruntersuchungsjahren war gleichfalls ein heterochrones, wobei jedoch in den Karten nicht phänologische Isochronen, sondern die aufeinanderfolgenden phänologischen Zustände selbst synchron zur Eintragung gelangten. Das Reduktionsverfahren unterscheidet sich wenig von dem für die heterochrone 1967er Kartierung angewendeten.

Die den Karten von 1965 und 1966 zugrundegelegte phänologische Skala kann noch nicht als befriedigend homo-

chron bezeichnet werden, so daß der Vorteil einer genaueren Widerspiegelung der standörtlichen Unterschiede, der die synchrone Karte eigentlich auszeichnet (5.3.5.2), nicht ausgeschöpft werden konnte.

Dennoch stellen die Ergebnisse eine Ergänzung und Bestätigung der 1967 erhaltenen Verteilung dar. Dies gilt vor allem für die hier allein wiedergegebene 1966er Aufnahme (Karte 3). Leider waren 1966 noch kaum Belege von Waldstandorten bekannt. Lediglich im Norden der Waldsiedlung Frohnau geben einige Beobachtungen die entsprechenden Verhältnisse wieder, hier jedoch in eine besonders extreme Gesamtlage eingebettet. Wie zu erwarten, zeigt die synchrone Karte im Vergleich zur heterochronen (1967) eine relativ feinere Untergliederung des innerstädtischen Gebietes. Fast die Hälfte der zum entsprechenden Zeitpunkt erfaßten Entwicklungsspanne läßt sich im Bereich geschlossener Wohnbebauung wiederfinden.

6. Erfassung der Temperaturverhältnisse im Untersuchungsgebiet

6.1 Vorbemerkung

Wenngleich BERG (1952) zufolge die phänologischen Daten ein "Klimaelement sui generis" repräsentieren, das als ein solches Interesse beanspruchen kann, so ist es doch darum nicht weniger erwünscht, die Beziehungen aufzudecken, die zwischen einer phänologischen Verteilung und der Verteilung wichtiger Standortfaktoren bestehen. Daß dabei die Temperaturverhältnisse vorrangig von Interesse sind, wurde schon im Abschnitt 5.1.1 dargelegt. Sie zu untersuchen wurden drei verschiedene Wege eingeschlagen:

1. Errichtung eines thermoklimatischen Sondernetzes,
2. ergänzende Meßfahrten mit Widerstandsthermometern,
3. jahreszeitlich differenzierende Auswertung der Temperaturdaten aus den Jahren 1963 bis 1967 des bestehenden, von Herrn Dipl.-Met. Hackenthal betreuten Netzes Berliner Klimastationen.

6.2 Temperaturmessungen auf reaktionskinetischer Grundlage (Rohrzucker-Inversionsmethode nach PALLMANN et al. 1940)

6.2.1 Anmerkungen zum Meßverfahren

Die reaktionskinetische Temperaturmessung ist ein integrierendes Verfahren, und hierin besteht ihr wesentlicher Vorteil gegenüber herkömmlichen Meßweisen. Es entfällt die Notwendigkeit, Durchschnittswerte aus einer großen Zahl mit hohem Zeitaufwand ermittelter Einzelwerte zu berechnen. Für den Einsatz in frei zugänglichem oder mangelhaft geschütztem Gelände ist außerdem ein maßgeblicher Gesichtspunkt der, daß die zu exponierenden Meßkörper billig sind. Ihr Abhandenkommen bedeutet zwar verlorene Meßwerte, jedoch darüber hinaus keinen nennenswerten Schaden.

Als Grundlage des Meßverfahrens dient die Temperaturabhängigkeit der Rohrzuckerinversion in saurer Lösung (Aufspaltung des Disaccharides Rohrzucker in die Monosaccharide Traubenzucker und Fruchtzucker). Der Vorgang ist leicht durch die jeweilige Richtung und den Betrag der Drehung zu verfolgen, die polarisiertes Licht beim Durchtritt durch die Lösung erfährt (polarimetrische Konzentrationsbestimmung).

Kritische Auseinandersetzung mit der von PALLMANN und Mitarbeitern erarbeiteten Methode geschieht u.a. in Veröffentlichungen von LÜDI (1948), BERTHET (1960), AULITZKY (1961), LÜTZKE (1963) und SCHLÜTER (1966). Insbesondere ist auf die *e x p o n e n t i e l l e* Temperaturabhängigkeit der Rohrzuckerinversion hinzuweisen, derzufolge die hohen Temperaturen mit größerem Gewicht in den Mittelwert des jeweiligen Meßabschnittes eingehen als die niedrigen. Dadurch ist die erhaltene sogenannte "exponentielle Mitteltemperatur" (eT) stets etwas höher als das wahre Temperaturmittel. Je stärker die Temperaturen im Meßabschnitt schwanken, umso mehr wird die eT das wahre Temperaturmittel überschreiten. PALLMANN et al. erblickten hierin einen Vorteil bei ökologischen Untersuchungen, da auch die Pflanzenwelt exponentiell auf den Temperaturfaktor anspreche. LÜDI (1948) fand jedoch bei Untersuchungen an alpinen Standorten, daß im Wuchsraum der niedrigen Vegetation nicht selten Temperaturmaxima auftreten, welche die Stoffwechselvorgänge nicht mehr fördern, sondern im Gegenteil hemmen oder zum Erliegen bringen.

Oggleich bei Pflanzen mit stomatärer Gaswechselreaktion die exakte Bestimmung von Temperaturoptima, insbesondere der Photosynthese, problematisch ist (STÄLFELT 1960), darf doch erwartet werden, daß LÜDIS Befund nicht auf die niedrigbleibende Vegetation beschränkt ist. Beträchtliche Übertemperaturen treten ja nicht nur an der Bodenoberfläche, sondern auch in sonnenbestrahlten Blättern auf (RASCHKE 1956; siehe auch GEIGER 1961).

6.2.2 Abwandlung des Verfahrens für den stadtklimatischen Einsatz

In seiner ursprünglichen Form war das PALLMANN'sche Verfahren nicht leicht zu handhaben und ermöglichte zudem den gleichzeitigen Ansatz nur einer relativ geringen Lösungsmenge. Eine Reihe von Autoren, neben den schon genannten seien noch KUNDLER (1954) sowie insbesondere SCHMITZ und VOLKERT (1959) erwähnt, haben die Effektivität der Methode erhöht und ihre Anwendung vereinfacht. Zu speziellen Meßproblemen gibt darüberhinaus eine Arbeit von SCHMITZ (1964) Auskunft.

Es erwies sich dennoch als erforderlich, die Methode für den stadtklimatischen Einsatz in drei Punkten noch weiter abzuwandeln. Diese betreffen das prinzipielle Vorgehen beim Ansetzen der Lösung, das Pufferungssystem bei niedrigeren pH-Werten sowie das Sterilisieren der Lösung.

Auf Grund eines Vorschlages meines Lehrers, Prof. BERGER-LANDEFELDT, sollte versucht werden, eine wesentlich größere Menge der Meßlösung in einem einzigen Ansatz herzustellen als das bislang möglich war. Dies gelang dadurch, daß anstelle des üblichen volumetrischen ein gravimetrischer Ansatz der Meßlösung vorgenommen wurde. Voraussetzung hierfür ist das Vorhandensein einer Analysenwaage hoher Belastbarkeit. In der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt in Berlin ist eine solche vorhanden, und man gab mir dort bereitwillig die Erlaubnis, Sie für den Ansatz der Meßlösung zu benutzen. Die Waage kann bis zu 50 kg belastet werden und erlaubt ein auf 10 mg genaues Arbeiten.

Die beim ersten Ansatz im Frühjahr 1963 hergestellten knapp 50 Liter Meßlösung hatten einen pH von 2,4. Bei einem solchen ist die Reaktionsgeschwindigkeit jedoch so gering, daß während kälterer Perioden im Frühjahr und Herbst trotz mehrwöchiger Exposition nur geringe Drehwinkeländerungen erhalten wurden. Die Fehlerstreuung

erreicht dabei fast die Größenordnung der auf Lageunterschieden der Meßstellen beruhenden Streuung. Im Sommer 1964 wurde weitere Meßlösung benötigt und diesmal auf einen pH von 2,2 eingestellt. Die zuvor verwendete, von SCHMITZ und VOLKERT (1959) vorgeschlagene Puffersubstanz (Natriumcitrat) ist bei pH-Werten unter 2,5 ohne jeden Einfluß, da dann keine Citrationen in der Lösung vorliegen. Es wurden noch zwei weitere Puffersubstanzen geprüft, von denen sich schließlich Glykokoll als am besten geeignet und auch bei pH 2,2 noch recht wirksam herausstellte.

Ein weiteres Problem betraf die Konservierung der sehr leicht von Bakterien und Pilzen befallenen Zuckerlösungen. Heiß-Sterilisation von neutraler Zuckerlösung und späterer Säurezusatz, wie es PALLMANN et al. empfahlen, ist bei großen Ansätzen kaum noch möglich. Für das Verfahren der Sterilfilterung ist die Lösung zu viskos. Ein Zusatz von Toluol, wie er mehrfach verwendet wurde, scheint nicht immer befriedigt zu haben (KUNDLER 1954). SCHMITZ und VOLKERT empfahlen Sublimat, doch kommt dieses wegen seiner hohen Giftigkeit für einen Einsatz in der Stadt an kaum oder garnicht gesicherten Meßplätzen nicht in Frage. Stattdessen wurde zunächst und mit dem gewünschten Erfolg Benzaldehyd verwendet. Dieses war jedoch offenbar die Ursache für einen weißlichen Niederschlag, der sich manchmal nach dem Auftauen der tiefgefrorenen Meßlösung in dieser zeigte und der nur schwer zur Auflösung zu bringen war. Fast durchwegs traten diese Erscheinungen in Meßampullen auf, welche während einer Sonderuntersuchung flach in die Streu von Moorstandorten eingebracht worden waren (extrem große Tagesamplitude der Temperatur). Wahrscheinlich handelte es sich hier um Ausfällungen von durch Autoxidation des Aldehyds entstandener Benzoesäure. Dafür spricht u.a., daß sich der pH-Wert der Lösung während der Exposition um einige Zehntel erniedrigte. Beim zweiten Großansatz (2 x 40 Liter) wurde daher direkt mit Benzoesäure sterilisiert (im Kochkolben heiß gelöst) - ein Verfahren, das sich

gut bewährte. Eine Konzentration von 0,1% in der Meßlösung schützte zuverlässig vor Verpilzung. Ausfällungen wurden nicht mehr beobachtet.

Durch Dauereexposition einer größeren Zahl von Ampullen in temperaturkonstanten Bädern bzw., für die niedrigeren Temperaturen (10° und 5°C), in Klimakammern, wurden für die Lösungen beider Ansätze die Eichkurven ermittelt. Im Falle des ersten Ansatzes war hiermit eine Diplomanandin betraut (WINKELS 1963).

6.2.3 Dauer und Gliederung des Meßprogramms

Das auf reaktionskinetischer Grundlage arbeitende Sondernetz wurde während der drei Vegetationsperioden 1963 bis 1965 betrieben. (Im Winter ist die Geschwindigkeit der Rohrzuckeraufspaltung so gering, daß keine charakteristischen Werte zu erhalten sind). In jedem Meßjahr folgten fünf Expositionsintervalle unterschiedlicher Dauer aufeinander. Während kühler Perioden (insbesondere Übergangsjahreszeiten) wurde längere, während warmer Perioden kürzere Zeit exponiert. Im übrigen wurde versucht, Beginn und Ende der Meßperioden mit charakteristischen Umstellungen der Wetterlage zusammenfallen zu lassen, was jedoch nicht immer zur Zufriedenheit gelang.

6.2.4 Aufstellungsprobleme und Standortskorrekturen

Bisher war das PALLMANN'sche Verfahren vorwiegend am Pflanzenstandort angewendet worden, wobei die Meßkörper teils im Boden und in der Laubstreu, teils im Luftraum zur Exposition kamen, im letzteren Fall meist mit einem Strahlungsschutz versehen. Ergebnisse eines Stadtklima-Sondernetzes auf reaktionskinetischer Grundlage werden hier m.W. zum ersten Male veröffentlicht.

Für die Zuverlässigkeit der Meßwerte und damit für das

Maß der vertretbaren Differenzierung im Untersuchungsgebiet ist die Einheitlichkeit der Meßkörperaufstellung ausschlaggebend. Trotz der Nachteile, die der reaktionskinetischen Methode - z.T. prinzipiell - anhaften, muß doch gesagt werden, daß der Mangel an geeigneten expositionsgleichen Meßplätzen sich als das entscheidende Hemmnis bei der Durchführung des Meßprogramms erwiesen hat. Nicht nur waren die für die Meßkörperaufstellung festgelegten Standardbedingungen nur an wenigen Plätzen gegeben; vielfach konnte auch für geeignete Meßplätze keine Genehmigung zum Aufstellen des Pfahles mit der Meßkörperhalterung erlangt werden.

Leider ist es schwer, die Güte eines Klimanetzes mit noch nicht erprobter Meßkörperaufstellung im voraus zu beurteilen. Erst nachträglich ließ sich die Streuung der (korrigierten) Meßwerte um ihre Lage im mesoklimatisch generalisierten Temperaturfeld ermitteln. Es ergab sich eine Standardabweichung von $\pm 0,15$ Grad. Das entspricht im Bereich schwacher Gradienten (etwa $0,1$ Grad/Kilometer) einer Ortsunsicherheit der Isothermenziehung von $\pm 1,5$ Kilometern, im Bereich starker Gradienten (etwa $0,5$ Grad/Kilometer) einer solchen von $\pm 0,3$ Kilometern, senkrecht zu den Isothermen. Diese Werte ergaben sich für ein relativ dicht mit Meßpunkten ausgestattetes Gebiet einschließlich des Stadtzentrums. Immerhin kam hier eine Meßstelle auf etwa ein bis zwei Quadratkilometer. Für die übrigen von der Aufnahme erfaßten Teile des Stadtgebietes, insbesondere den ganzen Norden sowie den äußersten Süden Westberlins, lagen die Verhältnisse weit ungünstiger. Man kann daher nicht sagen, daß das Meßprogramm die erhofften Ergebnisse eingebracht hätte.

Die einzelne Meßanlage bestand in einem waagrecht angebrachten 30 cm langen, beiderseits offenen Ofenrohr, in das die mit Gummiringen auf ein Styropor-Gestell gespannten Meßkörper (je drei Ampullen mit Meßlösung) eingeschoben wurden. Das Schutzrohr erhielt außen einen weißen Anstrich. Die Aufstellungshöhe betrug $1,50$ m

über Grund. Um die direkte Sonnenbestrahlung weitgehend auszuschalten, wurde das Schutzrohr 0,8 bis 1,0 m von einer nördlich gerichteten Gebäudewand entfernt installiert. Durch seitliche Verbauung oder Vegetation genossen die meisten der insgesamt 70 normal ausgestatteten Meßstellen auch in den Morgen- und Abendstunden Schutz vor direkter Sonnenstrahlung. An 30 Meßstellen war jedoch zeitweise Besonnung möglich.

Mit einem Horizontoskop (TONNE 1954) wurden an sämtlichen Stationen die Abschirmungsverhältnisse und die potentielle Besonnung (monatsweise) quantitativ bestimmt. Die durch Vegetation und die durch Mauerwerk etc. abgeschirmten Teile der Himmelshalbkugel wurden getrennt vermerkt.

Zunächst ergab sich für die nicht sonnenbeeinflussten Meßstellen eine auf dem 2%-Niveau gesicherte Beziehung (Rangkorrelation) zwischen gemessener Temperatur und einer Größe $B - V$, in welcher B den durch Bausubstanz und V den durch Vegetation abgeschirmten Flächenanteil der Himmelshalbkugel darstellt. An Hand einer graphisch ermittelten Regressionslinie ließen sich die entsprechenden Korrekturbeträge unmittelbar entnehmen. Diese konnten in gleicher Weise für die Daten von teilweise besonnenen Meßstellen Verwendung finden. Hinzugefügt wurde bei einer kleinen Zahl durch Sonderverhältnisse ausgezeichnete Meßstellen ein geschätzter Korrekturbetrag (s.u.). Sodann wurde die Korrelation zwischen den solcherart vorkorrigierten Temperaturwerten und der mittleren täglichen Besonnungsdauer (potentiell) der Meßperiode geprüft. Unberücksichtigt blieben die Zeiten mit weniger als 10° Sonnenhöhe. Für das Mittel aller Meßperioden wurde eine Korrelation $r = +0,6$ erhalten, welche auf dem 0,27%-Niveau ($\pm 3\%$) gesichert ist. Die Korrekturen wurden wiederum der Regressionslinie entnommen.

Wahrscheinlich hätte sich die Datenstreuung noch vermindern lassen, wenn es gelungen wäre, auch für die Eigenschaften der jeweiligen den Meßkörper umgebenden Grenzflächen, z.B. bewässerter Rasen, offener Boden, Pflaster, Mauerwerk verschiedener Albedo Temperaturzu- oder -abschläge zu berechnen. Das Vorhaben scheiterte aber an der Mannigfaltigkeit der infragestehenden Substrate. Es konnten lediglich in einigen begründeten Fällen Korrekturbeträge geschätzt werden.

Anzuschließen waren ferner die Werten der in Klimahütten untergebrachten Meßkörper. Diese lagen gegenüber den an Normalstationen ermittelten generell zu hoch. Die Differenzen zeigten keine nennenswerte Abhängigkeit von der Ortslage und betrugen im Mittel aller Meßperioden 0,6 Grad. Es wurden hiernach die Hüttenwerte an die der Normalstationen angeglichen.

6.2.5 Der Unterschied zwischen exponentiellen und wahren Temperaturmitteln und seine Bedeutung für das aus den ersteren abgeleitete Verteilungsbild

Aus den im Abschnitt 6.2.1 genannten Gründen sollte versucht werden, Aussagen über den Unterschied zwischen exponentieller und wahrer Mitteltemperatur zu gewinnen. Dazu wurden beide Parameter in zwei Wetterhütten des Untersuchungsgebietes (Meteorologisches Institut Dahlem und Flugwetterwarte Tempelhof) über die 15 Meßperioden hinweg verfolgt. Anstelle des wahren Temperaturmittels, welches durch stündliche Auswertung des Thermographenstreifens erhalten wird, fand allerdings das bei klimatischen Untersuchungen übliche sog. Klimamittel Verwendung. Es berechnet sich aus den drei Terminbeobachtungen 7^h (I), 14^h (II) und 21^h (III) nach

$$t_d = \frac{I + II + 2 \cdot III}{4}$$

Das Temperaturmittel der jeweiligen Meßperiode stellt

den Durchschnittswert der zugehörigen täglichen Klimamittel dar.

Im Mittel aller Perioden betrug der Unterschied zwischen eT und t_p (arithmetisches Mittel der Periode) $+1,7$ grad, bei einer Streuung (einfache Standardabweichung) von $\pm 0,5$ grad. Die mittlere Tagesschwankung der Temperatur zu den betr. Perioden nahm Werte zwischen $8,0$ und $11,4$ grad (Mittel: $9,9$ grad) an. Eine Korrelation zwischen der Differenz $eT - t_p$ und der mittleren Tagesschwankung der Temperatur war in diesem relativ schmalen Bereich nicht sicher nachzuweisen. Bei der Streuung handelt es sich also im wesentlichen um den "zufälligen Fehler". Dennoch läßt sich die Steigung der Regressionsgeraden wenigstens der Größenordnung nach abschätzen, da für den Fall, daß die Tagesschwankung Null wird, eT und t_p einander im Betrag gleich werden müssen. Somit sind zwei Punkte der Regressionslinie bekannt. Aus ihnen läßt sich eine durchschnittliche Steigung von $0,17$ grad $eT - t_p$ pro Grad Tagesschwankung berechnen.

Dieses Ergebnis ist für die Interpretation von im Stadt-Umland-Raum ermittelten Verteilungen exponentieller Mitteltemperaturen insofern von Bedeutung, als bekanntlich die innerstädtischen Standorte, verglichen mit den Verhältnissen in der freien Umgebung, durch eine nicht unerhebliche Dämpfung der täglichen Temperaturamplitude charakterisiert sind. So weist die Berliner Innenstadt (Station Fasanenstraße) gegenüber einem freigelegenen waldnahen Standort am nördlichen Stadtrand (Station Gollanczstraße) im Mittel der Monate März bis Oktober eine Amplitudendämpfung von $2,0$ grad auf (vgl. 6.4.2.2). Daraus folgt, daß die auf reaktionskinetischer Grundlage ermittelten Meßdaten die Temperaturunterschiede zwischen Innenstadt und Peripherie um $0,3$ bis $0,4$ grad, d.h. um etwa ein Fünftel der tatsächlichen Differenz zu niedrig wiedergeben. Das ist leicht zu erkennen, wenn man die in Karte 4 dargestellte mittlere Verteilung der eT während dreier Vegetationsperioden mit den im Abschnitt 7.3 abgeleiteten thermischen Richtwerten vergleicht.

6.2.6 Darstellung der Meßwerte in Kartenform

Von der kartenmäßigen Darstellung jeder einzelnen Meßperiode kann hier abgesehen werden. Die entsprechenden Temperaturverteilungen zeigen untereinander so gut wie keine Unterschiede, die als typisch gelten könnten. Zwar sind Meßperioden, die größtenteils mit einstrahlungsreichen Witterungsperioden zusammenfielen, gegenüber solchen mit überwiegend Advektionswitterung durch deutlich größere Temperaturdifferenzen im Stadtbereich ausgezeichnet; doch prägt sich dies lediglich quantitativ, d.h. in der relativen Isothermendichte aus. Es wurden daher die Werte aller 15 Expositionsintervalle für jede der 79 Meßstellen (70 in Normalaufstellung, 9 in Klimahütten) zusammengefaßt und die Mittelwerte berechnet. An diese wurden die bereits besprochenen Korrekturen angebracht.

Die gemittelte und korrigierte Verteilung der exponentiellen Temperaturmittel findet sich in Karte 4 dargestellt. Die Isothermen wurden im Abstand von 0,2 zu 0,2 Grad gezeichnet. Überall dort, wo das Datenmaterial mehrere Möglichkeiten der Linienführung offen ließ, wurde als Entscheidungshilfe die Karte der 1967er Blühdaten von *Tilia x euchlora* (Karte 1) zu Rate gezogen. An keiner Stelle ist hierbei den Meßwerten Gewalt angetan worden. Dennoch läßt sich bei einem solchen Vorgehen nicht verhindern, daß das Kartenbild z.T. eine Genauigkeit vortäuscht, die allein aus den thermischen Daten nicht zu erreichen gewesen wäre.

So beruht die Isothermenführung nördlich der S-Bahnlinie Spandau-Gesundbrunnen, abgesehen von einer zudem ungünstig aufgestellten Meßstelle an der Seestraße, nur auf den Werten von zwei Klimahütten, in denen Meßlösung exponiert war. Ähnlich verhält es sich im äußersten Süden des Untersuchungsgebietes (Ortsteile Lichtenrade und Rudow). In den übrigen kartierten Gebietsteilen (die Forsten sowie die westlichen Stadtbezirke konnten nicht einbezogen werden) war eine Anlehnung der Isother-

men an den Isochronenverlauf nur vereinzelt dort erforderlich, wo das hier dichtere Stationsnetz widersprüchliche Meßdaten lieferte.

Daß die Anlehnung der thermischen an die phänochronische Verteilung praktisch überall zwanglos möglich ist, darf wohl als indirekter Beweis für die Brauchbarkeit phänologischer Daten zur Darstellung der relativen Temperaturverhältnisse gelten.

6.2.7 Weitere Bearbeitung der Meßwerte

Im vorigen Abschnitt ist bereits darauf hingewiesen worden, daß die in einer Meßperiode vorherrschende Witterung sich in der relativen Dichte der Isothermen im Untersuchungsgebiet ausdrückt. Mit anderen Worten: Advektionslagen bewirken kleine, Strahlungslagen große Differenzen der eT zwischen ausgewählten Stationen. Bei der Untersuchung dieser Beziehung konnten Witterungstypen oder Großwetterlagen jedoch nicht zugrunde gelegt werden, da die Meßperioden meist verschiedenartige Witterungsverhältnisse in sich einschlossen. Stattdessen wurde für eine Reihe von meteorologischen Größen der jeweilige Periodenmittelwert bestimmt und zu einem Kennwert in Beziehung gesetzt, der die eT -Differenzen im Untersuchungsgebiet während der betr. Periode charakterisiert. Dies für die insgesamt 15 Meßperioden durchgeführt, erlaubte die Berechnung von Korrelationen. Bei der Bestimmung des Kennwertes für die eT -Differenzen war darauf zu achten, daß nicht einzelne fehlerhafte Meßwerte ein übergroßes Gewicht bei der Korrelationsberechnung erlangen konnten. Auf keinen Fall durfte man sich auf die Differenzen eines einzigen Stationspaares beschränken. Vielmehr wurde für jede Meßperiode die mittlere eT -Differenz von 50 Stationspaaren berechnet. Diese bestanden überwiegend aus einer innerstädtischen und einer stadtrandnäheren Meßstelle, wobei Sorge getragen war, daß sich die Verbindungsgeraden auf die verschiedenen Himmelsrichtun-

gen etwa gleichmäßig verteilten. Auf diese Weise sind die Daten fast aller Meßstellen in die Kennwerte der eT-Differenz eingegangen.

Die Ergebnisse der Berechnung sind Tab. 21 zu entnehmen.

Tabelle 21 Korrelation der Temperaturdifferenzen (eT)
im Stadtgebiet mit den Periodenmittelwerten
einiger meteorologischer Größen (Meteorolo-
gisches Institut Dahlem)

meteorologische Größe:	Korrela- tions- koeffi- zient (PEARSON)	Überschreitung der Zufallshöchstgrenze auf Vertrauensniveau:		
		99,9%	99%	95%
Wasserdampfdruck	+0,77	+	+	+
Bewölkung	-0,71	-	+	+
Windgeschwindig- keit	-0,69	-	+	+
tägl. Temperatur- maximum	+0,69	-	+	+
tägl. Temperatur- minimum	+0,67	-	+	+
relative Sonnen- scheindauer $h/h_{\max}$	+0,66	-	+	+
Lufttemperatur	+0,64	-	-	+
tägl. Temperatur- amplitude	+0,61	-	-	+
Sonnenscheindauer	+0,51	-	-	-
Lufttemperatur: Differenz gegen vieljährige Durchschnittswerte	+0,15	-	-	-

Von allen untersuchten Parametern scheint der Wasserdampfdruck am engstem mit den städtischen Temperaturdifferenzen verbunden zu sein. Das entspricht insofern der Erwar-

tung, als die meteorologischen Angaben in einem locker besiedelten, vegetationsreichen Villenort gewonnen wurden, nur wenig entfernt von feuchten Standorten eines mehrere Kilometer langen, sich verzweigenden Grünzuges, der im Westen in die ausgedehnte Wald- und Seenlandschaft des Grunewaldes mündet. Somit dürfte im Umkreis der meteorologischen Station die Wassernachlieferung an die Atmosphäre den Temperatur- und Einstrahlungsverhältnissen ohne wesentliche Einschränkung folgen können, was im Stadttinneren ganz sicher nicht der Fall ist.

Zu Wind und Bewölkung bestehen erwartungsgemäß ziemlich hohe negative Koeffizienten. Die Bindung starker horizontaler Temperaturgradienten an hohe Temperaturmaxima kann ebenfalls nicht verwundern. Daß ein entsprechender Zusammenhang auch für die Temperaturminima gefunden wird, ist ein etwas überraschendes Ergebnis und bedarf der näheren Untersuchung.

Windruhige Strahlungslagen sind erfahrungsgemäß gerade mit niedrigen nächtlichen Minima verbunden, und es besteht auch wenig Anlaß zu bezweifeln, daß es solche Lagen sind, bei denen die autochthonen Gegebenheiten am stärksten in der Temperaturverteilung zum Ausdruck kommen. Darüberhinaus folgt aus der exponentiellen Temperaturansprache der Rohrzuckerinversion, daß die Temperaturminima mit geringerem Gewicht in die eT eingehen, als die Maxima. Das Meßprinzip kann also für die hohe positive Korrelation der Temperaturminima mit dem horizontalen Temperaturgradienten keine Erklärung liefern, sondern läßt eine solche noch schwerer erscheinen. Indessen muß man sich klar machen, daß sich die Meßperioden, für die die Korrelationen berechnet wurden, über den größten Teil des Jahres erstrecken, etwa die Monate März bis Oktober umfassend. Der Verdacht, daß hier im wesentlichen der Jahresgang der Temperatur erfaßt wurde, liegt nahe. Dieser Verdacht verdichtet sich zur Gewißheit bei einem Blick auf Tab. 36, aus der hervorgeht, daß in Berlin die wärmste Jahreszeit zugleich die mit

der geringsten Bewölkung und den niedrigsten Windstärken ist. Verdeutlicht wird dieser Zusammenhang noch durch die jahreszeitliche Häufigkeit, mit der in Berlin-Dahlem Windruhe registriert wurde. Diese ist im Sommer mit 3,2% doppelt so groß wie im Winter (1,6%) und noch immer fast um die Hälfte größer als im Frühjahr (2,2%) und Herbst (2,4%).

Es ist damit klargeworden, daß die in Tab. 21 wiedergegebenen Korrelationskoeffizienten bei solchen meteorologischen Größen, die einen stark ausgeprägten Jahresgang zeigen, wenig aussagen. Das gilt, außer für die thermischen Parameter, noch für den Dampfdruck und die absolute Sonnenscheindauer. Da das vorliegende Material für eine jahreszeitlich oder gar monatlich differenzierende Korrelationsanalyse nicht ausreicht, bleibt nur zu versuchen, den Jahresgang rechnerisch zu eliminieren, d.h. nicht mit den absoluten, sondern mit relativen meteorologischen Größen zu arbeiten.

Wie der Tabelle zu entnehmen, wurde dieses Verfahren für die Sonnenscheindauer (bezogen auf die jeweilige astronomisch mögliche Besonnungszeit) sowie für die mittlere Lufttemperatur (bezogen auf die 60-jährigen Normalwerte) durchgeführt. Die Korrelation der relativen Sonnenscheindauer mit dem städtischen Temperaturgradienten erweist sich als wesentlich enger, als das bei der absoluten Sonnenscheindauer der Fall ist. Dagegen läßt sich bei der auf Normalwerte bezogenen Lufttemperatur kein signifikanter Zusammenhang mit der Ausbildung des Gradientenfeldes feststellen. Das wird verständlich, wenn man sich vor Augen hält, daß bei uns die höchsten Strahlungsumsätze in frisch eingeflossener Polarluft anzutreffen sind. Letztere ist arm sowohl an Trübungspartikeln als auch an Wasserdampf, so daß in ihr über dem relativ warmen Land die Bewölkung meist rasch abnimmt, wenn die Luftmasse in unserem Gebiet zur Ruhe kommt. Bei geringen Windgeschwindigkeiten und klarem Himmel vermögen sich dann die autochthonen Gegebenheiten

voll durchzusetzen, und wir erhalten maximale Stadt-Land-Differenzen der Temperatur.

Man kann erwarten, daß die in Tabelle 21 nur mäßig eng mit dem horizontalen Temperaturgradienten verknüpft erscheinende tägliche Temperaturamplitude bei Verwendung eines entsprechenden Relativmaßes weit besser mit den thermischen Stadt-Land-Differenzen korreliert ist.

6.3 Temperaturmeßfahrten im Untersuchungsgebiet

6.3.1 Vorbemerkungen

Bei der Planung der Arbeit waren Meßfahrten vorgesehen, um zwischen den Daten der eT-Meßstellen besser interpolieren zu können. Jedoch ist, wie sich herausstellte, der Zusammenhang von aus Meßfahrten hervorgegangenen Daten mit der eT-Verteilung weniger eng als der zwischen eT-Verteilung und den phänochronischen Werten. Letztere dienten daher nahezu ausschließlich als Entscheidungshilfe für die Isothermenziehung in Gebieten mit ungenügender Meßstellendichte. Dennoch erschien es mir nicht überflüssig, einige der bei Meßfahrten gewonnenen Informationen ergänzend anzuführen.

Es handelt sich in erster Linie um eine nach umfangreichen Vorarbeiten in der Nacht vom 15. zum 16. Juni 1966 unternommene kooperative Meßfahrt, bei der zwei Fahrzeuge gleichzeitig die Temperaturen in ganz Westberlin mit Ausnahme der Forsten und einiger kleinerer randlicher Gebiete mit Widerstandsthermometern und Registriereinrichtung aufzeichneten. Hierbei, wie bei den vorbereitenden Arbeiten unterstützten mich Kollegen des Instituts für Meteorologie der Freien Universität Berlin, insbesondere Herr Dr. G. HOFFMANN. In einem Teil des Bezirks Schöneberg, der sowohl eng verbaute Strukturen als auch ausgedehnte Kleingarten- und Grünanlagen umfaßt, wurden

im August des folgenden Jahres zusätzlich Messungen mit dem Aspirationspsychrometer durchgeführt. Die gewonnene Temperaturverteilung ließ sich, bei tlw. übereinstimmender Streckenführung, gut an die der Hauptmeßfahrt anschließen. Entsprechendes geschah mit den Ergebnissen zweier Meßfahrten, durch die im Sommer 1970 die nächtlichen Temperaturverhältnisse im Berliner Forst Grunewald aufgeklärt werden sollten.

Ein Nachteil der resultierenden Karte ist zweifellos das weitgehende Fehlen von Wiederholungsmessungen auf den gleichen Strecken. Hierfür reichte die verfügbare Zeit leider nicht aus. VAN EIMERN (1955) und AICHELE (1969) stellten jedoch fest, daß die relative Temperaturverteilung in Strahlungsnächten innerhalb der Vegetationsperiode nur geringfügige Variabilität zeigt. Man kann danach sehr wohl aus den Meßwerten einer Nacht eine Übersicht über die grundsätzliche Verteilung der Warm- und Kaltgebiete gewinnen, wenngleich in diesem Falle bei der Interpretation feinerer Details Zurückhaltung zu üben ist. Empfohlen wird von den Autoren eine dreimalige Befahrung, um Zufälligkeiten in der vorgefundenen Verteilung auszugleichen. Der Verzicht auf eine solche Absicherung erscheint mir aber vertretbar, weil es sich hier nur um ergänzende Information handelt.

Interessante Möglichkeiten des Vergleichs mit den Ergebnissen der im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Aufnahmen bietet eine Serie von Meßfahrten, die P.SCHULZE (1969) in Strahlungsnächten des Winters 1968/69 in Westberlin durchführte.

Natürlich sind Strahlungslagen selten ganz rein ausgebildet. In Grenzfällen wird die Entscheidung für oder gegen die Durchführung einer Meßfahrt subjektiv sein. Um so mehr ist darauf zu achten, daß die Angaben zur Witterung sich nicht auf allgemeine Feststellungen wie "wolkenlos", "windschwach" etc. beschränken. Die Windgeschwindigkeit sollte in konkreten Daten stündlich

oder doch wenigstens für die Termine 22⁰⁰, 1⁰⁰ und 4⁰⁰ Uhr vorliegen. Aus den Angaben muß zudem hervorgehen, ob es sich um in Bodennähe gemessene (geschätzte) oder vom Windmeßsturm einer Wetterwarte in repräsentativer Höhe gewonnene Daten handelt. An weiteren für die Beurteilung der Meßnacht nützlichen Parametern seien Windrichtung, Bewölkung sowie die Taupunktdifferenz genannt. Anstelle der letzteren kann auch die relative Luftfeuchtigkeit Verwendung finden. Gegebenenfalls sind Sichtweitenangaben als Maß der atmosphärischen Trübung mit heranzuziehen. Eine recht gute Anschauung läßt sich auch aus dem Betrag der Temperaturabnahme zwischen ausgewählten Terminen gewinnen. Allerdings sind solche Angaben nur bedingt mit entsprechenden anderenorts unternommenen Meßfahrten vergleichbar. Eine weitere Möglichkeit zur Charakterisierung der Witterung einer Meßnacht besteht in der Differenzbildung zwischen den nächtlichen Minima zweier thermisch gegensätzlicher Standorte im Untersuchungsgebiet. Es versteht sich von selbst, daß die betr. Werte nicht auf andere Lokalitäten übertragbar sind. Für den Vergleich mehrerer Strahlungsnächte im gleichen Gebiet erweisen sie sich aber manchmal als instruktiv, da in ihnen der Windrichtungseinfluß zum Ausdruck kommt und zwar oft erstaunlich deutlich, selbst bei geringen Windstärken.

6.3.2 Kooperative Meßfahrt vom 15. zum 16. Juni 1966 (Widerstandselektrische Temperaturaufnahme)

Hierbei waren zwei Fahrzeuge mit je einem Kompensations-Punktendrucker 'Polycomp' der Firma Hartmann & Braun und Widerstandsthermometern ausgerüstet. Der Meß- und Betriebsstrom wurde einem von der Motorbatterie unabhängigen Bleiakкумуляtor (6V/180Ah) entnommen und über das Registriergerät an die Widerstandselemente geführt. Da das Gerät mit Wechselstrom arbeitet, mußte ein Zerhacker verwendet werden. Als Meßfühler diente auf einen flachen Glimmerkörper gewickelter mit Lack isolierter Platindraht (100 Ω).

Zur Prüfung der Einstellgeschwindigkeit bei ventilierten Meßfühlern wurden diese mehrfach einer plötzlichen Temperaturveränderung (zwischen 0,2 und 1,0 Grad) ausgesetzt und der Gang der angezeigten Meßwerte beobachtet. Es ergab sich eine Halbwertzeit von $3 \frac{1}{2}$ Sekunden. 90% der Endwertanzeige wurde nach 12 Sekunden erreicht, was bei ambulanten Messungen eine ziemlich hohe Trägheit bedeutet. In dieser Zeit hat sich das Fahrzeug etwa 130 m weiterbewegt, wenn, wie hier, eine Normalgeschwindigkeit von 40 km/h gefahren wird. In Gebieten mit geringen bis durchschnittlichen Temperaturgradienten können solche Abweichungen freilich unberücksichtigt bleiben. Wo der Gradient sehr steil war, mußte jedoch eine entsprechende Korrektur angebracht werden.

Die Ventilation erwies sich deshalb als vorteilhaft, weil die Fahrgeschwindigkeit, zumal im ampelgeregelten Verkehr, nicht gleichmäßig sein konnte. Im Stand gab es freilich trotz Belüftung charakteristische Meßwertveränderungen, die gleichfalls in einem Korrekturglied Berücksichtigung fanden.

Es wurde in 20 cm und 2 m Höhe über Grund in vor den Fahrzeugen angebrachten Schutzrohren gemessen. Je Meßstelle wurde alle 8 Sekunden ein Wert gedruckt. Auf eine Abbildung der Anlage kann hier verzichtet werden. Im wesentlichen handelt es sich um dieselbe, die SCHULZE (1969) in den Abbildungen 21, 22 und 23 seiner Arbeit zeigt. Bei der hier beschriebenen Meßfahrt standen allerdings die oberen Schutzrohre quer zur Fahrtrichtung und es war darauf geachtet worden, daß der Luftstrom vom Ventilator durch das Schutzrohr *g e s a u g t* wurde, um eine Beeinflussung der gemessenen Werte durch die Motorwärme des Ventilators auszuschalten. Beide zum Einsatz gelangten Fahrzeuge besaßen einen Heckmotor, so daß auch der diesbezügliche Einfluß auf die angezeigten Temperaturwerte als geringfügig betrachtet werden kann. Zur Auswertung gelangten lediglich die Registrierungen der Messung in 2 Meter Höhe.

Die Messung der bodennahen Temperatur diene als zusätzliche Information für die richtige Einschätzung von stark abweichenden Meßwerten, welche gelegentlich aufzutreten pflegen. Soweit diese von Eigenschaften der Unterlage herrühren, kommen sie in der Registrierung der bodennahen Verhältnisse noch stärker zum Ausdruck und lassen sich entsprechend berücksichtigen.

Als fraglich darf gelten, ob die gemessenen Temperaturen für die Höhe des Meßkörpers über Grund (2 Meter) repräsentativ sind. Vor der Verwendung eines Fahrzeuges mit senkrechter Stirnfläche warnt z.B. AICHELE (1969), weil durch eine solche die Luft bereits vor dem fahrenden Wagen turbulent strömen würde, so daß anstatt der erwarteten höhenbezogenen Temperatur eine Mischungstemperatur gemessen wird, zu der sich keine spezifische Höhe angeben läßt. Bei den hier verwendeten Typen (VW-Variant und VW 1200) und der gefahrenen Geschwindigkeit von maximal 40 km/h ist zwar mit einem laminaren Strömungsverhalten bis zu dem am rechten Wagenrand etwa über der Tür montierten Meßrohr zu rechnen; jedoch dürfte bis hier schon eine gewisse Anhebung der durchfahrenen Luftschicht stattgefunden haben. Daher wird die bei bewegtem Fahrzeug gemessene Temperatur etwa für eine Höhe um 1.50 m über Grund Gültigkeit besitzen. Da es bei dieser Untersuchung nur auf den regionalen Vergleich ankam, spielt es keine Rolle, wenn eine genaue Meßhöhe nicht angegeben werden kann.

In der Nacht vom 15./16. Juni 1966 - die charakteristischen meteorologischen Daten sind in Tabelle 22 enthalten - wurden beide Fahrzeuge gemeinsam auf getrennten Routen eingesetzt. Die Streckenführung im einzelnen läßt sich Abb. 24 entnehmen. Die Innenroute wurde durch eine geschlossene, die Außenroute durch eine unterbrochene Linie dargestellt. Punktierte Linien sollen die Streckenführung von später durchgeführten ergänzenden Temperaturentnahmen aufzeigen, bei denen mit dem Aspirationspsychrometer gemessen wurde (s. 6.3.3). Die Dauer der

Tabelle 22

Meteorologische Daten zu ausgewählten Strahlungsnächten

Datum	ff		dd		N		UU		VV		Δt_n		$t_{19}-t_1$		$t_{22}-t_4$	
	22 ^h	1 ^h	4 ^h	22 ^h	1 ^h	4 ^h	22 ^h	1 ^h	4 ^h	22 ^h	1 ^h	4 ^h	22 ^h	1 ^h	4 ^h	22 ^h
1966...15./16.6.	10	6	11	E	ENE	1	0	0	46	59	64	16	17	14	+5,7	7,7
1967...25./26.8.	5	4	2	E	ESE	0	1	0	92	97	98	13	10	9	+4,0	7,5
1970...6./7.7.	2	3	2	NNW	SE S	1	0	1	82	95	96	20	12	15	+5,0	8,7
1970...13./14.8.	3	3	3	ESE	SE ESE	0	0	0	89	94	93	12	8	10	+4,5	7,3
1967	20./21.10.	10	8	13	S	S	S	S	85	86	87	9	8	11	-0,7	1,9
	7./8.11.	5	2	7	S	SSE	SE	SE	95	98	98	6	6	8	+3,8	3,2
	13./14.11.	5	7	5	SSW	S	SSE	1	87	95	97	10	4	5	+2,4	3,9
	19./20.11.	6	4	1	ESE	E	0	0	83	95	96	10	7	8	+5,2	3,9
	7./8.2.	10	10	7	SSE	SE E	0	0	86	83	85	14	9	6	+1,4	4,5
	19./20.2.	6	8	3	SSW	SSW	SSE	0	85	85	87	8	5	5	+1,6	0,9
	20./21.2.	13	2	2	N	NW	NW	0	82	88	93	15	12	9	+4,1	3,9
	25./26.2.	10	7	5	NNE	NNE	0	0	64	74	82	17	15	13	+6,6	3,6
	26./27.2.	3	4	3	W	W	W	0	91	92	92	9	13	9	+2,7	4,7
	3./4.3.	8	2	3	SE	SSE	SW	0	70	81	92	9	10	9	+4,9	4,3
1968	24./25.3.	8	11	9	SSE	SSE	SSE	0	71	82	86	12	16	13	+1,0	5,7
	26./27.3.	10	10	7	SW	SW	SW	0	97	97	97	10	9	5	+1,1	2,4
	27./28.3.	5	5	7	SW	SW	SW	0	62	69	80	9	12	10	+4,9	7,5
	28./29.3.	2	2	7	SSE	SSE	SSE	0	60	70	72	5	5	7	+4,6	7,5
	29./30.3.	6	5	8	SSE	SSE	SSE	0	65	68	85	6	9	8	+6,7	6,5
																4,4

ff = Windgeschwindigkeit (Knoten) Mittel der letzten 10 Minuten, Meteorologisches Institut Dahlem

dd = Windrichtung

N = Gesamtbedeckung des Himmels mit Wolken (Achtel)

UU = Relative Feuchtigkeit (%)

VV = Sichtweite (km)

Δt_n = Differenz der Temperaturminima zwischen den Stationen Tempelhof (Flughafen) und Tegel
 $t_{19}-t_1$ = Temperaturrückgang an der Station meteorol. Institut Dahlem zw. 19 u. 1 Uhr. (Fließtal)
 $t_{22}-t_4$ = Temperaturrückgang an der Station meteorol. Institut Dahlem zw. 22 u. 4 Uhr.

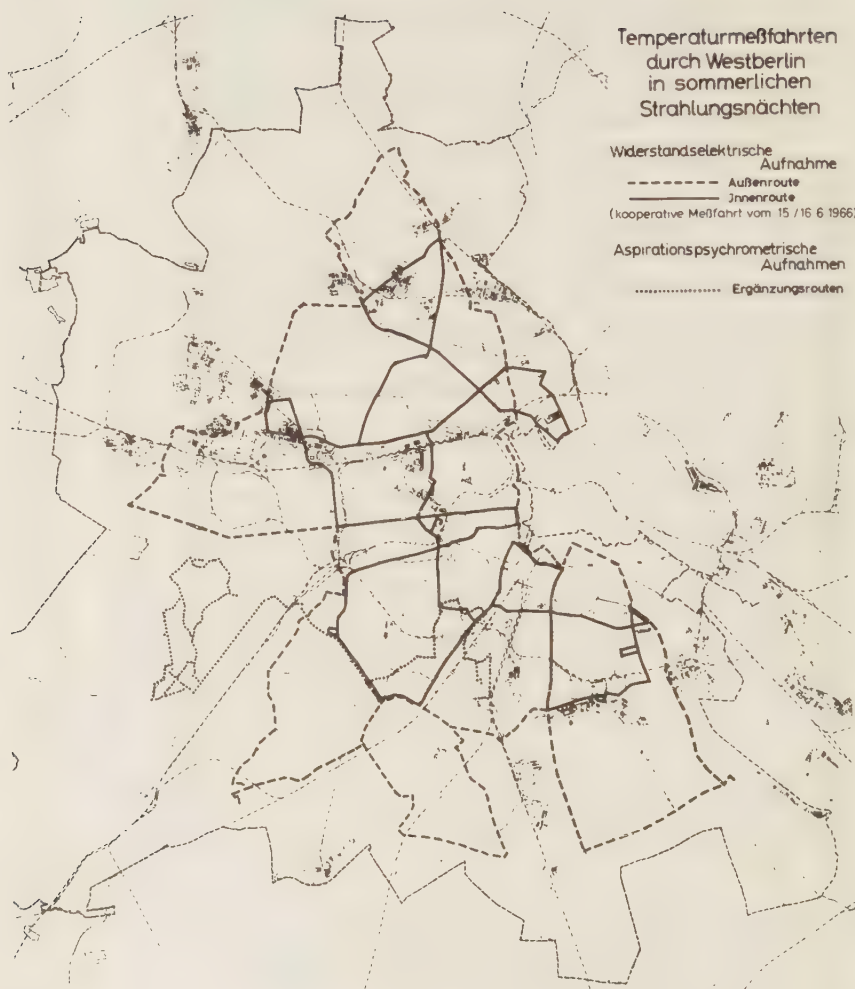


Abb. 24

Meßfahrt (zwischen 23.22 und 03.22 Uhr) betrug genau vier Stunden. Um eine verlässliche Reduktion der Meßwerte auf einheitliche Zeit zu erreichen, war auf eine möglichst große Zahl von Doppelbefahrungen und anderen Kontrollmöglichkeiten Wert gelegt worden. Zu den letzteren sind die Auswertung der Registrierungen von insgesamt 10 in Routennähe befindlicher oder direkt berührter Klimahütten zu rechnen. Außerdem wurde ein Thermograph während der Dauer der Meßfahrt auf einem innerstädtischen Gelände aufgestellt, so daß auch für das dicht bebaute Stadtgebiet ein Beleg existiert.

6.3.3 Ergänzende Meßfahrten kleineren Umfangs (Aspirationspsychrometrische Temperaturaufnahme)

Am ersten Stelle ist eine am 25./26. August 1967 durchgeführte nächtliche Meßfahrt zu nennen, in deren Verlauf insbesondere die thermischen Verhältnisse in einem Teil des Bezirks Schöneberg zur Untersuchung kamen, der sowohl ein zusammenhängendes Gebiet dichter, 5-stöckiger Altbau als auch, daran fast unmittelbar angrenzend, ein ausgedehntes Kleingartengelände umfaßt. Es handelte sich hierbei um eine Schülerarbeit, die Herr H. LASARCYK unter Anleitung des Verf. durchgeführt hat. Im Verlauf einer mit dem PKW in beiden Richtungen abzufahrenden Route waren insgesamt 26 Meßpunkte festgelegt worden. Die Beobachtungen wurden außerhalb des Fahrzeuges in einer Höhe von 0,7 m über Grund vorgenommen, unter Beachtung der beim Arbeiten mit aspirierten Thermometern gebotenen Sorgfalt. Das zur Anwendung gelangte Verfahren liefert für jeden Meßpunkt zwei Temperaturwerte. Diese sind in zeitlicher Hinsicht einigermaßen symmetrisch um die Meßzeit am Routenendpunkt gruppiert. Abweichungen von dieser zeitlichen Symmetrie wurden bei der Reduktion der Meßwerte berücksichtigt. Der durch Registrierungen an zwei Punkten kontrollierte sehr gleichmäßige Temperaturabfall während dieser Meßnacht erlaubte eine

lineare Interpolation bei Ermittlung der Temperaturen zur Bezugszeit.

Ein größeres Waldgebiet, der Berliner Forst Grunewald, wurde durch zwei ähnliche, aber mit dem Fahrrad durchgeführte Meßfahrten in den Nächten vom 6./7. Juli und vom 13./14. August 1970 aufgenommen. Dabei ging es vor allem um die Einschätzung der thermischen Auswirkung von charakteristischen Geländeformen wie den die Unterhavel begleitenden Höhen oder dem teilweise von Mooren und kleinen Seen eingenommenen havelnahen Längstal (westliche Grunewaldseenrinne). Durch mehrfaches Anfahren von Beobachtungspunkten (Schleifenfahrten) und mit Hilfe von im Gebiet aufgestellten Registriergeräten ließ sich der Temperaturgang der beiden Meßnächte rekonstruieren, so daß die gemessenen Temperaturwerte wiederum auf einheitliche Bezugszeit reduziert werden konnten. Allerdings wies der Temperaturgang gebietsweise erhebliche Unterschiede auf. Die Übertragung der an einem Registrierpunkt angetroffenen Verhältnisse auf andere, nur durch eine Einzelmessung repräsentierte Stellen ist dabei zwangsläufig mit einer Unsicherheit verbunden. Wie sich besonders bei der letzten, detaillierten Untersuchung zeigte (13./14. 8.), muß stellenweise mit Reduktionsfehlern von mehr als $\pm 1,0$ grd gerechnet werden, wenn von einem Registrierpunkt auf ein Meßgebiet mit größeren Geländeunterschieden rückgeschlossen wird. So blieb ein kurz vor 2 Uhr nachts registrierter plötzlicher Temperaturanstieg um $1,8$ grd offenbar auf einen schmalen Uferstreifen entlang der Unterhavel beschränkt und konnte schon wenige 100 m davon entfernt, im Bereich der Havelhöhen, nicht mehr festgestellt werden.

Auch zu den drei hier genannten Meßfahrten sind die meteorologischen Verhältnisse der Tab. 22 zu entnehmen. Inwieweit diese als befriedigend angesehen werden können, zeigen u.a. die Angaben in den letzten drei Spalten zu den betr. Nächten. Besonders sei auf die unter Δt_n notierten Differenzen zwischen den Temperaturminima einer

innerstädtischen und einer peripheren Klimastation hingewiesen. Hiernach war die stärkste lokale Differenzierung des Temperaturfeldes zur Zeit der kooperativen Meßfahrt anzutreffen; doch bleiben die Werte für die drei übrigen Meßnächte nicht wesentlich dahinter zurück. Auch bezüglich der vorherrschenden Windrichtung (dd) stimmen die vier Nächte nahezu vollkommen überein, so daß ausgeprägte qualitative Unterschiede der betr. Temperaturverteilungen gleichfalls als unwahrscheinlich gelten dürfen. Somit erscheint es gerechtfertigt, die Ergebnisse der aspirationspsychrometrischen Aufnahmen gemeinsam mit denen der kooperativen Meßfahrt zu verarbeiten.

Da auf teilweise Übereinstimmung der Streckenführung geachtet worden war, ließen sich die ergänzenden Aufnahmen mit ausreichender Sicherheit an die Hauptaufnahme (kooperative Meßfahrt) anschließen. Dieses hier nicht im Detail auszuführende Vorgehen hat nicht nur das synoptisch überschaubare Gebiet erweitert, sondern die ergänzenden Aufnahmen erbrachten zudem Informationen, aus denen sich ein besseres Verständnis von Ergebnissen der kooperativen Meßfahrt gewinnen ließ. So konnte in einigen Gebietsteilen die Isothermenführung verbessert werden.

6.3.4 Diskussion der Temperaturkarte nach nächtlichen Meßfahrten

Eine Übersicht über die Temperaturverteilung in sommerlichen Strahlungsnächten, wie sie sich aus der Zusammenfassung der unternommenen Meßfahrten ergibt, gewährt Karte 5. Eine Drängung der Isothermen läßt sich vorwiegend in den randlichen Stadtteilen feststellen. Am meisten fallen in dieser Hinsicht einige Teile des Grunewaldes ins Auge. Die hohen Gradienten dürften hier auf die Reliefverhältnisse zurückzuführen sein. Regelmäßig finden sich hohe Gradienten der Temperatur in Strahlungsnächten auch überall da, wo Siedlungsgebiete, selbst relativ lockere, an Waldland grenzen. An dritter Stelle in

der Rangordnung der gradientstärksten Gebiete sind ausgedehntere, in das Weichbild der Stadt einbezogene Grünanlagen und Freiflächen zu nennen, deren Temperaturniveau meist um etwa drei Grad niedriger gelegen ist, als das der umgebenden Strukturen. Schließlich spiegeln sich aber auch kleinere und kleinste Grünanlagen der inneren und mittleren Stadtzone in der nächtlichen Temperaturverteilung wider, was bei dem gewählten Isothermenabstand von einem Grad und der mesoklimatischen Generalisierung nicht immer zum Ausdruck kommt. Wo die Meßroute aber solche Anlagen berührte, wurden stets Temperaturerniedrigungen um einige Zehntelgrade verzeichnet (über Straßendecke! - über dem Rasen der Anlage ist die Erniedrigung noch weitaus stärker).

Im Gegensatz zu den Freiflächen und Grünanlagen weisen die stark überbauten innerstädtischen Bereiche in der Meßnacht nur geringe Unterschiede hinsichtlich ihrer 1-Uhr-Temperatur auf, weshalb hier die Zwischenwerte 21,5 und 22,5°C zusätzlich zu den ganzgradigen Isothermen zur Eintragung gelangt sind (punktiert). Die Innenstadt erscheint in Karte 5 kaum stärker differenziert als in den phänologischen Karten (1 und 2), obwohl letztere im ganzen Untersuchungsgebiet nur halb so viel Isothermen zur Darstellung bringen. In der Temperaturkarte erstrecken sich die im Gebiet der geschlossenen 5-stöckigen Bebauung angetroffenen Daten nur über ein Fünftel der im Gesamtgebiet notierten Temperaturspanne, während der entsprechende Anteil für die phänochronische Datenverteilung (Karte 1) ein Drittel der gesamten Zeitdifferenz beträgt. Dieser Unterschied ist dadurch noch gravierender, daß, wie unter 5.3.5.2 gezeigt werden konnte, das innerstädtische Gebiet, methodisch bedingt, an Hand der phänologischen Isochronen eine relativ zu schwache standörtliche Untergliederung erfährt. Desungeachtet fällt die Erklärung des Phänomens nicht schwer. Es konnte bereits gezeigt werden, daß für die Pflanzenentwicklung nicht die Temperaturminima, sondern die Mitteltemperaturen die ausschlaggebende Rolle spielen. Die 1-Uhr-

Temperaturen einer Strahlungsnacht pflegen aber noch extremer zu sein als die mittleren Temperaturminima der betr. Periode. In windruhigen, wolkenarmen Nächten weist das thermische Verhalten charakteristischer Stadtgeländetypen weitgehend autochthone Züge auf. Innerhalb eines Typs, z.B. geschlossene innerstädtische Wohnbebauung, kommt es somit nur zu geringfügiger thermischer Differenzierung. Die Hauptdifferenzen befinden sich dann im peripheren Gebiet, wobei insbesondere die Geländeformung (Relief) den Ausschlag gibt. Während der ohnehin über die längste Zeit hinweg herrschenden Advektionslagen sowie allgemein am Tage sind dagegen die Temperaturunterschiede im peripheren Gebiet weniger ausgeprägt. Aber auch im geschlossen bebauten Stadtgebiet können sich dann die autochthonen Gegebenheiten nicht voll durchsetzen. Infolge der Luftbewegung zeigen die randlichen Teile in stärkerem Maße thermische Züge des angrenzenden offenen Geländes. Hierdurch verlagert sich der Schwerpunkt des Temperaturgefälles zwangsläufig zum Stadtzentrum hin. Daß sich dies in der Tat so verhält, bestätigt ein Blick auf die Verteilung der exponentiellen Mitteltemperaturen (Karte 4). Hier entfällt sogar rund die Hälfte der gesamten erfaßten Temperaturspanne auf das innerstädtische Gebiet.

Auswirkungen von Grünanlagen auf das umgebende Stadtgebiet treten in der Temperaturverteilung zur Meßnacht weniger hervor als in der Verteilung der phänochronischen Daten (vgl. 5.4.2). Sie sind aber auch hier nicht zu übersehen. Je größer das von einer innenstadttypischen Struktur eingenommene zusammenhängende Gebiet ist, um so höhere Nachttemperaturen lassen sich in seinem Zentrum nachweisen.

Natürlich darf die Aussagefähigkeit von Temperaturkarten der hier wiedergegebenen Art nicht überschätzt werden. Zwar hat es sich gezeigt, daß bestimmte Abschnitte der Pflanzenentwicklung recht gut auch mit den täglichen Minima der Lufttemperatur korreliert sind, doch kommen

die hier ausgewählten Witterungsverhältnisse im ganzen nicht allzu häufig vor, von der eingangs erwähnten beschränkten Repräsentanz einmaliger Aufnahmen ganz abgesehen. Interessant dürften die Ergebnisse insbesondere in Bezug auf den Menschen selbst sein, dessen Wohlbefinden im städtisch verbauten Bereich gerade bei hochsommerlichen Strahlungswetterlagen oft erheblich beeinträchtigt ist. Allerdings ist die Lufttemperatur nur ein Faktor unter mehreren, die unseren Wärmesinn affizieren. Stadtypisch spielen neben der Temperatur besonders die Wärmestrahlung und relative Windruhe eine Rolle für das Zustandekommen des Gefühls lästiger Hitze bzw. Schwüle (SCULTETUS 1969). Die gegenüber dem Freiland und Grünanlagen verminderte absolute und relative Feuchtigkeit der Stadtluft (KRATZER 1956) vermag diesen Effekt im allgemeinen nicht auszugleichen. Freilich stehen detaillierte, nach Tageszeiten und Wetterlagen differenzierende Untersuchungen der bioklimatischen Wirkung bestimmter Stadtstrukturen bisher noch aus, so daß sich noch nicht abschließend sagen läßt, welche Bedeutung den verschiedenen Meßgrößen anteilig zukommt.

6.3.5 Vergleich der sommerlichen Temperaturverteilung in Strahlungsnächten mit den entsprechenden winterlichen Verhältnissen

In der schon erwähnten Arbeit von SCHULZE (1969), die hinsichtlich ihres Untersuchungsgebietes mit der hier vorgelegten Arbeit übereinstimmt, ist die Temperaturverteilung in 15 windschwachen Strahlungsnächten des Winters 1967/68 behandelt. Die meteorologischen Angaben hierzu finden sich mit denen der eigenen Aufnahmen in Tab. 22 vereinigt. Der Autor hat 15 Gebietsteile von Westberlin sukzessive, jeweils eines in einer Meßnacht, aufgenommen und die resultierenden Verteilungen in ähnlicher Weise wie zu Karte 5 ausgeführt aneinander angeschlossen. Auch hier beruht also der Karteninhalt (Karte 6) überall außer im Bereich der Anschlußpunkte und -strecken auf nur einmaliger Be-

fahrung, so daß ebenfalls nur die großen Züge der Verteilung als zuverlässig gelten können.

Der Vergleich der Karten 5 und 6 macht neben einer weit gehenden Übereinstimmung in den Grundzügen des sommerlichen und winterlichen Temperaturfeldes in Strahlungsnächten auch charakteristische Unterschiede der betr. Verteilungen augenfällig. Im Winter treten, gemäß den Ergebnissen der SCHULZE'schen Arbeit, "die stärksten ... Temperaturgradienten überall dort auf, wo dichtbebautes Gebiet in freies Gelände übergeht". Eine Drängung der Isarithmen zeigten zwar auch die Untersuchungen des Sommers; doch waren hier die stärksten Gradienten innerhalb des bewaldeten Gebietes sowie an der Grenze von Wald- und Siedlungsgelände angetroffen worden. In der winterlichen Temperaturverteilung sind nennenswerte Gradienten an diesen Stellen nicht zu finden. So zeigt im Winter das Waldgebiet eine noch deutlich geringere thermische Differenzierung als der innerstädtische Bereich, wogegen die Verhältnisse im Sommer gerade umgekehrt sind. Die von SCHULZE im Forst Grunewald festgestellten Temperaturen liegen zwischen $-0,2$ und $+2,4$ grd (relativ), während die eigenen (sommerlichen) Untersuchungen den vierfachen Betrag für die betr. Temperaturspanne ergaben. Bezieht man diese Werte auf die jeweilige für das gesamte Untersuchungsgebiet (Westberlin) ausgewiesene Temperaturspanne (Differenz zwischen kältester und wärmster Stelle), so beträgt die für den Forst Grunewald verzeichnete Temperaturspanne hiervon im Winter 32%, im Sommer jedoch 91%.

Die Ursachen für diese überraschend großen Unterschiede sind nicht leicht zu erkennen. Zweifellos sind es aber die den Seenzug der Unterhavel begleitenden Grunewaldhöhen, deren thermische Verhältnisse hierbei am meisten ins Gewicht fallen. Die Temperatur in sommerlichen Strahlungsnächten ist hier nur geringfügig niedriger (1 grd, d.h. etwa 9% der Gesamtspanne) als im innerstädtischen Wärmezentrum. Im Winter lagen an der gleichen Stelle die Temperaturen $4 \frac{1}{2}$ grd niedriger als in der Innenstadt,

was mehr als 50% der Gesamtspanne entspricht. Der auffällige Wärmevorteil dieser Lagen ist also auf den Sommer beschränkt.

Betrachtet man auf der anderen Seite die nach SCHULZES Karte kälteste Stelle im Forst Grunewald - es handelt sich um den tiefsten Punkt des Hüttenweges, zwischen Grunewaldsee und Langem Luch - so beträgt desse Temperaturdifferenz zum Stadttinneren 7 grd im Winter und etwa 10 grd im Sommer. Hier ist also, zumal bei Berücksichtigung der jeweiligen Temperaturspanne im Gesamtgebiet, kein gravierender jahreszeitlicher Unterschied festzustellen. Eher sind die Mulden- und Tallagen im Sommer relativ kälter. Ganz deutlich ist das für die "normalen" mehr oder weniger ebenen Waldflächen der Fall, was u.a. auch durch die prägnanten sommerlichen Gradienten entlang der Grenzsäume zwischen Wald- und Siedlungsgelände zum Ausdruck kommt. Eine derartige Einstufung der Waldgebiete entspricht auch weit eher der Erwartung, da hier während der Vegetationsperiode beträchtliche Wärmemengen bei der Transpiration gebunden werden.

Die Frage, weshalb die Grunewaldhöhen ein entgegengesetztes Verhalten zeigen, läßt sich kaum ohne zusätzliche Spezialuntersuchungen beantworten. Vermuten kann man lediglich, daß im Sommer die Kompensationsprozesse intensiver verlaufen als im Winter. Möglicherweise befinden sich die peripheren Höhen dann zeitweise im Einflußbereich der die warme Stadtluft abführenden Oberströmung des Flurwindes. Ein Zusammenwirken mit Strömungen, die von den nachts als Heizflächen wirkenden Havelseen ausgehen, ist ebenfalls in Erwägung zu ziehen. Vorerst kann auf die weitere Erörterung dieser Problematik verzichtet werden, zumal es sich im Rahmen dieser Arbeit um randständige Aspekte handelt.

In Bezug auf die Form der innerstädtischen Wärmeinsel weichen die beiden Karten nicht unerheblich voneinander ab. Bei der sommerlichen Meßfahrt wurden Temperaturen

Über 22°C nur in einem allerdings ausgedehnten Gebiet westlich des Berliner Tiergartens angetroffen. SCHULZES winterliche Meßfahrten ergaben dort ein bedeutend weniger ausgedehntes Warmgebiet, wenn man die 6° -Isotherme als Begrenzung heranzieht. Zugleich weist seine Karte aber etwa gleich warme Gebiete an einer ganzen Reihe weiterer dicht bebauter Stellen der Stadt aus, so in den Bezirken Steglitz, Schöneberg, Kreuzberg, Neukölln, Tiergarten und Wedding. Daß im Sommer in diesen Gebieten keine vergleichbaren Wärmeinseln zu bemerken waren, kann ebenfalls als ein Effekt der intensiveren Austauschvorgänge während der Vegetationsperiode gedeutet werden. Schon an Hand der phänochronischen Daten (Karte 1) war gezeigt worden, daß dicht bebaute, aber randlich gelegene oder weniger ausgedehnte, von Freiland oder Grünanlagen umgebende Flächen ihre autochthone Charakteristik nicht voll entfalten können.

Den hauptsächlichen Grund für den im Sommer verstärkten Austausch wird man in der allgemein größeren Energiebilanz dieser Jahreszeit zu sehen haben. Die dadurch bedingte Intensivierung autochthoner Vorgänge führt bei gegebener Differenzierung des Geländes zu entsprechend verstärkten Kompensationsprozessen. Aber auch die meteorologisch wirksame Differenzierung des Geländes selbst ist im Stadt-Umland-Bereich während der Vegetationsperiode vergleichsweise stärker ausgeprägt als im Winter, da die Luft über den schlecht wärmeleitenden Vegetationsdecken in klaren Nächten sehr rasch abkühlt, wohingegen der im Winter weithin offenliegende Boden als Abstrahlungsfläche mit guten Leitungseigenschaften die Extreme mildert. Bei geschlossener Schneedecke in den Außenbezirken erreicht die Differenzierung der Oberflächen allerdings auch einmal die der Vegetationsperiode oder übertrifft sie sogar, ohne jedoch, aus dem o.a. Grund (niedrige Energiebilanz), gleichermaßen klimatisch differenzierend wirken zu können.

6.4 Auswertung von Temperaturdaten der Westberliner Klimastationen

6.4.1 Stationsnetz und Datenmaterial

Die Verteilung der Stationen, deren Angaben hier zur Auswertung gelangten, ist Abb. 18 zu entnehmen. Für die Stationen wurden die folgenden Abkürzungen verwendet:

1. Cf = Charlottenburg, Fasanenstr. (TU-Gelände)
2. Tz⁺) = Tempelhof, Zentralflughafen
3. Dt⁺) = Dahlem, Albrecht-Thaer-Weg (Institut für Acker- und Pflanzenbau, TU)
4. Tr⁺) = Tegel, Flughafen
5. Zr⁺) = Zehlendorf, Ravenweg
6. Bg = Buckow-Ost, Glockenblumenweg
7. Dp⁺) = Dahlem, Podbielskiallee (Meteorologisches Inst. der Freien Univ. Berlin)
8. Gr = Grunewald (Ortsteil), Reuterpfad
9. Hp = Havel, Pfaueninsel
10. Sh = Spandau-Hakenfelde, Fichtenweg
11. Rk⁺) = Rudow, Klein-Ziethener Weg
12. Hb = Heiligensee, Baumberge (Tagesheimschule)
13. Fg⁺) = Frohnau, Gollanczstr. (Schering-Versuchsgelände)
14. Tm⁺) = Tegel, Moorweg (Fließtal)
15. Sj = Spandauer Forst, Jagen 64
16. St = Spandauer Forst, Teufelsbruch

Bei den mit einem ⁺) versehenen Stationen handelt es sich um solche, die täglich betreut und deren Geräte zu den im Deutschen Wetterdienst üblichen Klimaterminen 7, 14 und 21 Uhr MOZ abgelesen werden. Die übrigen Stationen sind mit Thermographen, gelegentlich auch mit Hygrographen ausgerüstet und werden wöchentlich kontrolliert (Registrierstreifenwechsel). Daneben wird meist auch das Temperaturminimum in Erdbodennähe gemessen, welches hier aber ebenso wie Luftfeuchtigkeit und Niederschlag keine Berücksichtigung findet.

Die Auswertung der Registrierungen des vom Wetteramt Berlin, dem Institut für Meteorologie der Freien Universität Berlin und dem Institut für Angewandte Botanik der Technischen Universität Berlin gemeinsam eingerichteten und unterhaltenen Stationsnetzes wurde und wird durch Herrn Dipl.-Met. H.HACKENTHAL vorgenommen. Die monatlichen, vierteljährlichen und jährlichen Daten finden sich regelmäßig in den Beilagen zur Berliner Wetterkarte publiziert. Eine Ausnahme bilden die Daten aus der als Basis einer Pflanzenklimastation dienenden Klimahütte des Instituts für Acker- und Pflanzenbau der TU (Dt), die nicht veröffentlicht sind. Die zu Vergleichszwecken herangezogenen Werte von Stationen der Berliner Umgebung wurden den Monatsübersichten der Berliner Wetterkarte entnommen (nur Klimamittel der Lufttemperatur). Das Netz der Westberliner Klimastationen hatte etwa Anfang 1963 seine gegenwärtige Dicht erreicht. Die wenigen seither hinzugekommenen Stationen mußten unberücksichtigt bleiben.

Bezüglich der von Störeinflüssen freien Aufstellung genügen die meisten Hütten den Anforderungen. Vielmehr ist hier eher zu streng verfahren worden, denn es fällt auf, daß nur zwei von den 16 Stationen (Cf und Tz) annähernd die Verhältnisse dicht gebauter Stadtteile wiedergeben. Alle anderen stehen inmitten offenen oder sehr locker besiedelten Geländes. Eine solche Verteilung ist kaum zu vermeiden, nimmt man die für makroklimatisch repräsentativ messende Stationen gültigen Normen zum Maßstab. Es wäre jedoch für eine im Stadtraum differenzierende Klimauntersuchung eine Geräteaufstellung vorzuziehen, die sich nach den für die jeweils zu unterscheidenden Stadtstrukturen *t y p i s c h e n* Gegebenheiten richtet (vgl. PARRY 1967). Sinngemäß bewirken ja die Aufstellungsnormen der nationalen Klimanetze genau dies - freilich in Bezug auf die dabei zugrundegelegte weit- aus größere differentiale Raumdimension (s. 3.2). Andererseits darf auch nicht übersehen werden, daß eine mesoklimatisch stadttypische Aufstellung mit erheblichen

Schwierigkeiten verbunden ist. Es sind dies im Prinzip dieselben, die schon unter 6.2.4 erörtert worden sind.

Neben der wenig befriedigenden Verteilung der Meßplätze treten gelegentliche Mängel einzelner Stationen einigermaßen in den Hintergrund. Hinweise auf Besonderheiten der Hüttenaufstellung und Stationslage lassen sich z.T. der Diskussion der Ergebnisse entnehmen.

Für die Jahre 1963 bis 1967 wurden die folgenden thermischen Parameter in Form von jahreszeitlichen Mittelwerten den betr. Tabellen der Beilagen zur Berliner Wetterkarte entnommen:

1. das sogenannte Klimamittel der Temperatur

$$(t_d = \frac{7^h + 14^h + 2 \cdot 21^h}{4})$$

2. das tägliche Maximum der Temperatur (t_{dx})

3. das tägliche Minimum der Temperatur (t_{dn})

4. die Tagesschwankung der Temperatur

$$(\Delta t = t_{dx} - t_{dn})$$

Als zeitlicher Rahmen ist das sog. "Meteorologische Jahr" benutzt worden, das im Dezember mit dem Winter beginnt und im November zugleich mit dem Herbst endet. Genaugenommen sind hier Daten vom Dezember 1962 bis zum Februar 1968 vereinigt.

Eine Auswertung von Vierteljahresabschnitten (Jahreszeiten) ist freilich sehr grob. Doch rechtfertigt ein fünfjähriges Material ohnedies keine detaillierte Analyse, wohingegen der jahreszeitliche Gang schon charakteristische Züge der einzelnen Stationen hervortreten läßt. Zu bemerken ist schließlich, daß es sich bei allen hier bearbeiteten Temperaturmeßwerten um solche handelt, die in der normalen Klimahütte (Englische Hütte) in 2 m Höhe gemessen wurden.

6.4.2 Zusammenstellung fünfjähriger Temperaturdaten der Westberliner Klimastationen (1963 - 1967)

6.4.2.1 Mittlere Lufttemperaturen (Klimamittel)

Die betr. Ergebnisse sind in Tab. 23 zusammenfassend dargestellt und nach abnehmenden Jahresmitteln geordnet worden. Für den Winter sind die Daten z w e i e r Fünfjahresintervalle angegeben (1962/63 - 1966/67 und 1963/64 - 1967/68), was sich für die Wiedergabe von Jahresgängen als vorteilhaft erwiesen hat. Entsprechend wurden auch die fünfjährigen Temperaturmittel des Jahres zweimal wiedergegeben, einmal den Winter 1962/63, das andere Mal stattdessen den Winter 1967/68 einschließend. Der Vergleich mit den für die Station Dahlem (Dp) zusätzlich eingetragenen Normalwerten läßt erkennen, daß die Fünfjahresperiode bei Einschluß des Winters 1967/68 das Klima des Berliner Raumes ziemlich repräsentativ erfaßt, wohingegen der extrem kalte Winter 1962/63 die ihn enthaltenden Fünfjahresmittel merklich erniedrigt. Es wird sich daher, wo im folgenden Jahresmittel zur Betrachtung kommen, stets um solche des Zeitraums Frühling 1963 bis Winter 1967/68 handeln, sofern im Text nichts Gegenteiliges vermerkt ist.

Schon eine flüchtige Betrachtung der in Tab. 23 vereinigten Daten läßt erkennen, daß innerhalb des offenen bzw. locker besiedelten Geländes (alle Stationen außer Cf und Tz) sehr unterschiedliche Temperaturmittel vorkommen. Die betr. Spanne für die Jahresmittel ist mit 1,4 grad (7,9 bis 9,3°C) fast viermal so groß wie die darüber hinausreichende der Innenstadt. Dabei ist freilich zu beachten, daß die mit 9,6°C wärmste Station (Cf) zwar unweit der City gelegen ist, jedoch keineswegs die für großstädtische Bebauung typischen Verhältnisse repräsentiert. Die Station liegt vielmehr im Bereich der Grenzlinie zwischen aufgelockerter neuerer Universitätsbebauung und ausgedehnten Garten- und Erholungsanlagen (Zoo- gärtnerei, Zoologischer Garten, Tiergarten). Aber selbst

Tabelle 23 Mittlere Lufttemperaturen (Klimamittel) an
Westberliner Klimastationen

Station	1962/63 - 66/67	1963 - 1967			1963/64 - 67/68	Jahr ¹⁾ Jahr ²⁾	
	Winter	Frühling	Sommer	Herbst	Winter		
Cf	<u>-0,3</u>	<u>9,1</u>	<u>18,6</u>	<u>10,1</u>	<u>0,7</u>	<u>9,4</u>	<u>9,6</u>
Tz	-0,5	8,9	18,3	9,9	0,5	9,2	9,4
Dt	-0,5	8,8	17,9	9,8	0,6	9,0	9,3
Tf	-0,7	8,6	18,0	9,7	0,4	8,9	9,2
Bg	-0,9	8,6	17,9	9,3	0,2	8,7	9,0
Zr	-0,7	8,5	17,6	9,2	0,4	8,7	8,9
Gr	-0,7	8,6	17,4	9,2	0,4	8,6	8,9
Dp ³⁾	-0,6(+0,2)	8,5(8,6)	17,3(17,4)	9,2(9,0)	0,4(0,2)	8,6(8,8)	8,9(8,8)
Hp	-0,8	8,4	17,4	9,3	0,3	8,6	8,8
Sh	-0,9	8,3	17,4	9,2	0,3	8,5	8,8
Rk	-1,0	8,3	17,5	9,1	0,2	8,5	8,8
Hb	-1,0	8,2	17,4	9,2	0,1	8,4	8,7
Fg	-1,1	7,9	17,0	9,0	0,1	8,2	8,5
Tm	-1,3	7,8	16,8	8,6	-0,1	8,0	8,3
Sj	-1,5	7,5	16,5	8,2	-0,2	7,7	8,0
St	-1,4	7,5	16,4	8,1	-0,2	7,7	7,9

1) Mittelwert Dezember 1962 bis November 1967

2) Mittelwert März 1963 bis Februar 1968

3) in Klammern: Normalwerte des Zeitraums 1909-1969
(ohne 1945)

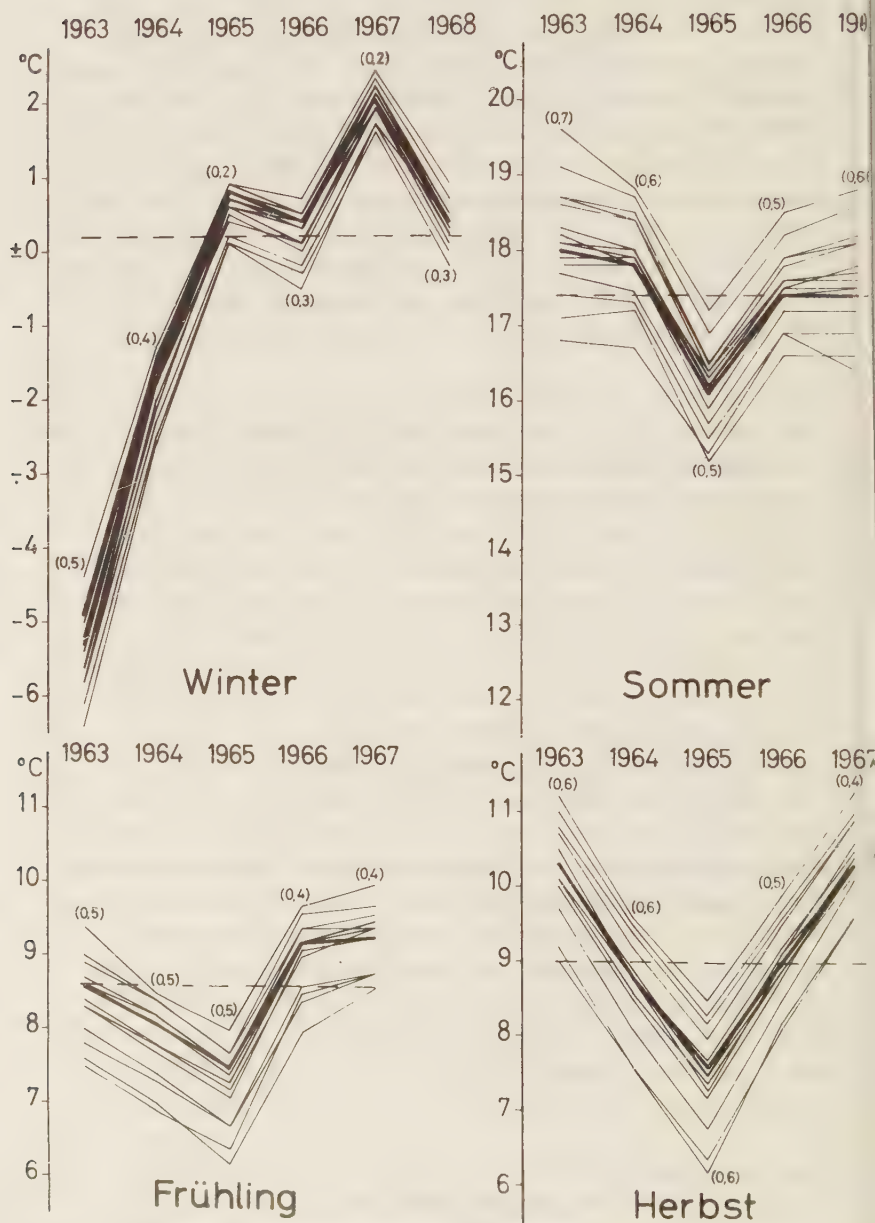
unter der wohl realistischen Annahme, daß die Temperaturmittel der City bei 10°C liegen, bleibt die für die Peripherie festgestellte Temperaturspanne noch immer etwa doppelt so groß wie die innerstädtische. Sie ist damit jedoch, ihrem relativen Anteil nach, wiederum bedeutend geringer als dies für die Temperaturverteilung in sommerlichen Strahlungsnächten konstatiert worden war (6.3.4). Auch hier handelt es sich um Advektionswirkungen, die zur Nivellierung der autochthonen Klimawirkungen führen. Bezüglich der Oberflächenstruktur ist z.B. die Umgebung von Dt ($9,3^{\circ}\text{C}$) der von Fg ($8,5^{\circ}\text{C}$) weitgehend ähnlich, nur daß die letzere Station gegenüber der ersteren mehr als doppelt so weit vom Stadtzentrum entfernt gelegen ist.

Schon der Tab. 23 läßt sich einiges über den Einfluß der Jahreszeit auf die thermische Differenzierung im Stadtgebiet entnehmen. Bildet man die mittlere Abweichung der sieben peripheren Stationen Tm, Fg, Sj, Rk, Hp, Zr und Hb gegen die innerstädtische Station Cf, so ergibt sich im 5-jährigen Mittel ein Jahresdurchschnitt von 1,0 grd. Der entsprechende Wert für den Sommer ist aber mit 1,4 grd fast doppelt so hoch wie der des Winters (0,8 grd). Im Herbst bleibt die thermische Differenzierung etwas hinter der des Sommers zurück (1,2 grd), während sich die Frühjahrsverteilung mit 1,0 grd mehr den winterlichen Verhältnissen annähert. Die einem solchen Jahresgang innewohnende Problematik wird in einem späteren Teil dieses Kapitels erörtert werden. Entsprechende Beispiele in KRATZERS Monographie zeigen vielfach abweichende Verhältnisse, etwa ein zweites oder gar das Hauptmaximum im Winter oder auch das Fehlen eines ausgeprägten Jahresganges der Stadt-Land-Differenzen. Dabei sei schon hier darauf hingewiesen, daß die thermische Differenzierung im Stadt-Umland-Bereich nicht mit den echten Stadt-Freiland-Differenzen verwechselt werden darf und mit ihnen auch nicht parallel zu gehen braucht.

Besser als aus der Tabelle läßt sich aus einer Graphik (Abb. 25) entnehmen, welche Bedeutung dem thermischen

Abb. 25

Jahreszeitliche Mitteltemperaturen an 16 Westberliner Klimastationen



————— Dahlem, Meteorologisches Institut
 - - - Jahreszeitliche Mitteltemperatur 1909 - 1969 für Dahlem
 () Streuung der Stationswerte (°C Standardabweichung)

Effekt der Stationslage im Rahmen der normalen jahresweisen Mittelwertschwankungen zukommt. Diese Bedeutung wird vielleicht am eindringlichsten vor Augen geführt, wenn man die Mitteltemperatur des kältesten Sommers (1965) an der wärmsten Berliner Station mit Mitteltemperaturen des wärmsten Sommers (1963) in kalten Lagen der Peripherie vergleicht. Zwei Stationen der letzteren bleiben hierbei immer noch kälter als die innerstädtische Station im Sommer 1965. Räumliche und jahresweise Temperaturstreuung erweisen sich hier also als ebenbürtig.

Die relative Anordnung der Stationen untereinander hinsichtlich ihrer jahreszeitlichen Temperaturmittel zeigt von Jahr zu Jahr eine gewisse Variation, die aber gering ist im Verhältnis zur jeweiligen Streuung der Stationswerte im Untersuchungsgebiet. Eine auffallend gute Parallelität der Stationswerte während der fünf bearbeiteten Jahre ist vor allem für den Herbst festzustellen.

Von den jahreszeittypischen Unterschieden fällt der gegenüber den wärmeren Jahreszeiten etwa dreifach größere 5-jährige Schwankungsbereich der Wintertemperaturen ins Auge. Dies ist kein zufälliges Ergebnis, etwa allein durch die Auswahl der Jahre 1963 bis 1967 bedingt. Vielmehr weist auch die 60-jährige Temperaturreihe von Berlin-Dahlem für die Winter dieses Intervalls eine nahezu doppelt so große Schwankungsbreite auf wie für die drei etwa gleich streuenden wärmeren Jahreszeiten (Differenz zwischen höchster und niedrigster Monatsmitteltemperatur: Winterdurchschnitt 13,0 grd; entsprechende Werte für Frühling, Sommer und Herbst: 7,2, 7,1 und 7,6 grd). Demgegenüber ist die räumliche Temperaturstreuung in Westberlin gerade im Winter am geringsten. Sie nimmt im Frühjahr beträchtlich zu und erreicht im Sommer und Herbst nahezu das Doppelte des für den Winter ermittelten Betrages. Bei ein und derselben Jahreszeit sind es keinesfalls immer die wärmsten Jahre, welche die größte räumliche Temperaturstreuung zeigen. Lediglich für den Sommer scheint dies zuzutreffen, während sich ansonsten und besonders

202
deutlich im Winter ein gegenteiliges Verhalten abzeichnet.

Um das Verhalten der einzelnen Klimastationen vergleichend beurteilen zu können, ist die Darstellungsweise von Abb. 25 zu unübersichtlich. Es wurde daher versucht, die zeitliche Streuung (von Jahr zu Jahr) zu eliminieren und statt der absoluten Temperaturskala eine relative zu verwenden. Als Bezugsbasis wurde willkürlich der jeweilige Durchschnittswert der 16 Westberliner Klimastationen gewählt. Die Station Potsdam (Pt), die nicht in die Mittelbildung einbezogen wurde, ist ebenfalls in ihrer relativen Lage zum Westberliner Stationsdurchschnitt dargestellt worden.

Das Ergebnis (Abb. 26) zeigt klarer als Abb. 25 den Jahresgang der Temperaturstreuung im Untersuchungsgebiet mit dem Minimum im Winter und dem Maximum im Sommer. Es wird aber auch deutlich, daß die relative, thermisch geordnete Abfolge der Stationen zu einer Jahreszeit von Jahr zu Jahr wechselt.

Welche Gesetzmäßigkeiten den unstetigen Stationsabfolgen zugrundeliegen, ist aus der Darstellung nicht zu entnehmen. Lediglich in einem, dem extremsten Fall scheint ein Zusammenhang mit der Temperatur bzw. der Streuung der Temperatur im Gebiet gegeben. So war im warmen Sommer 1963 die Station Heiligensee (Hb) um $4/10$ grd wärmer als die Station Pfaueninsel (Hp). Zugleich betrug die Standardabweichung der 16 Stationen von ihrem Mittelwert 0,7 grd. Im wesentlich kühleren Sommer 1965 (Standardabweichung 0,5 grd) erwies sich dagegen die Inselstation gegenüber Heiligensee als um $1/2$ grd wärmer. Die relative Temperaturdifferenz zwischen beiden Stationen schwankt also im hier untersuchten 5-jährigen Zeitraum um fast 1 grd. Der Grund für dieses Verhalten dürfte in den thermischen Eigenschaften der Wassermassen zu suchen sein, welche dem Temperaturklima an der Station Pfaueninsel das Gepräge geben.

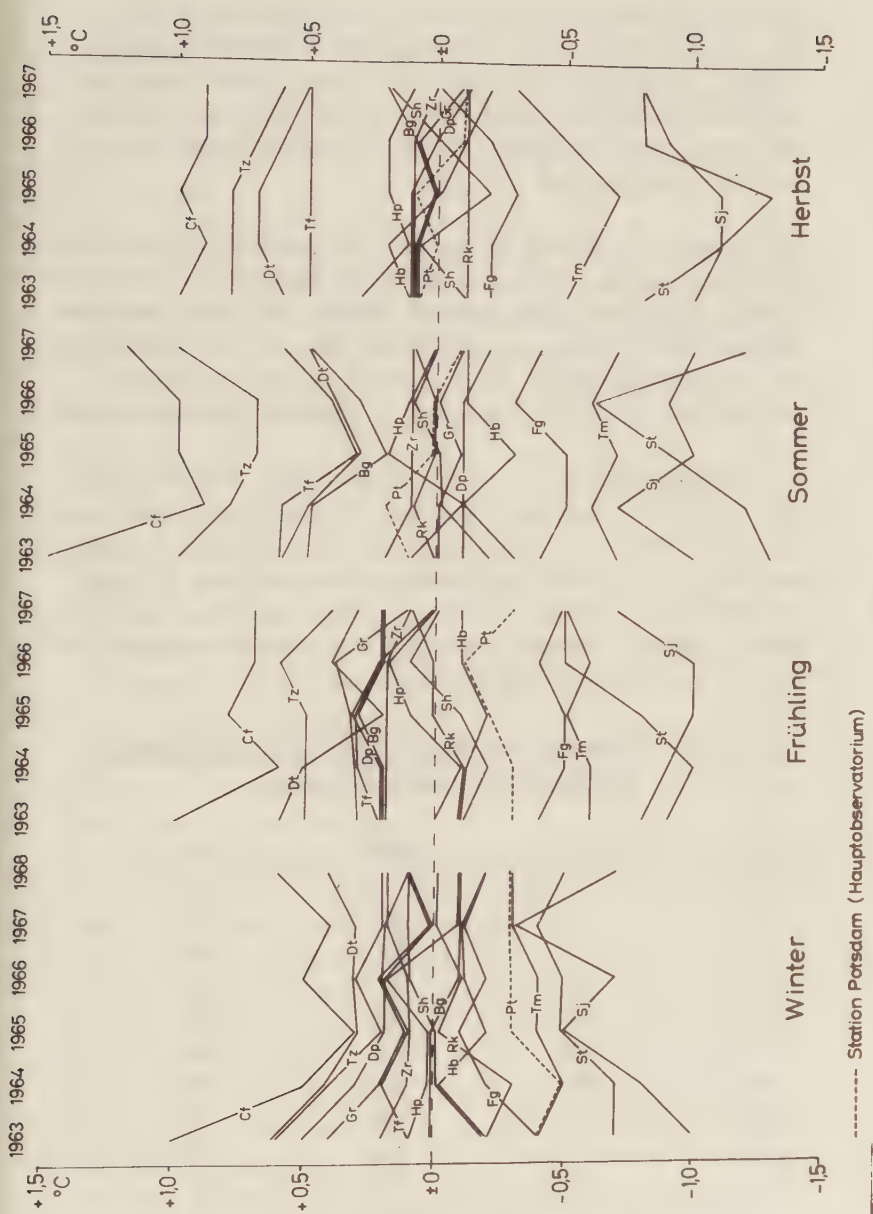


Abb. 26

Bei der Station Teufelsbruch (St) im Forst Spandau, die ebenfalls ein stark irreguläres Temperaturverhalten zeigt, ist hierfür in erster Linie der Wasserstand des zeitweise überschwemmten Moores verantwortlich. Dieser hat im Untersuchungszeitraum auch Veränderungen durch menschlichen Einfluß erfahren.

Im übrigen dürften die durch die Spreizung der Temperaturachse auffällig gewordenen Überschneidungen der Stationskurven auch nicht überbewertet werden. Von den genannten Beispielen abgesehen, zeigt selbst im stärkstfrequentierten Temperaturbereich eine Station meist nur mit drei, selten vier weiteren Stationen Temperaturüberschneidung.

Um Klarheit darüber zu erlangen, wieviele Temperaturstufen sich auf Grund der Stationswerte und ihrer Streuung innerhalb von Westberlin differenzieren lassen, wurde aus den jahreszeitlichen Stationsspektren der Abb. 26 nach abnehmender Temperatur geordnete Stationsfolgen gebildet, derart, daß die Temperaturwerte aufeinanderfolgender Stationen hinreichend unterschieden sind (Tab. 24).

Tabelle 24 Reihen thermisch sicher unterscheidbarer Westberliner Klimastationen

Winter	Frühling	Sommer	Herbst	
Cf	Cf	Cf	Cf	
Tz	Tz	Tz	Tz	
Dp	Gr	Tf	Dt	
Zr	Zr	Bg	Tf	
Hp	Hp	Zr	Hp	
Hb	Hb	Sh	Zr	
Tm	Fg	Dp	Fg	
Sj	Sj	Fg	Tm	
		Tm	Sj	
		Sj		
8	8	10	9	= Zahl der Stufen

Als hinreichend unterschieden wurden zwei Stationen dann angesehen, wenn ihre 5-jährigen jahreszeitlichen Temperaturmittel um wenigstens 0,1 grd voneinander abweichen und wenn höchstens in einem der fünf Jahre eine Umkehrung der normalen Aufeinanderfolge der beiden Stationen zu verzeichnen war (oder höchstens in zwei Jahren Temperaturgleichheit). Die Stationsfolgen der Tabelle ergeben sich unter der zusätzlichen Maßgabe, daß die größtmögliche Zahl von Stufen angestrebt wird. Es ergeben sich für Winter und Frühling je 8, für den Sommer 10 und für den Herbst 9 durch Klimastationen repräsentierte gut trennbare Temperaturstufen. Diese Zahl könnte jedoch wenigstens im Sommer und Herbst weit größer sein, wenn auch die hier nicht belegten Meßwertbereiche durch Klimastationen erfaßt würden. Solche Lücken in der Stationsverteilung sind besonders auffällig für die herbstliche Periode (Abb. 26). Hier ließe sich bei geeigneter Ergänzung des Stationsnetzes die Zahl der Temperaturstufen leicht verdoppeln.

Das Ausfallen einiger Stationen in Tab. 24 verschleiert etwas die schon aus Abb. 26 ersichtliche Tatsache, daß die relative Aufeinanderfolge der Stationen jahreszeittypische Unterschiede aufweist. Um dies noch deutlicher zu machen, wurden die relativen Jahresgänge der Temperatur stationsweise dargestellt (Abb. 27). Als Ordinatenmaß wurde dabei nicht die Temperatur selbst, sondern die einfache Standardabweichung der Temperatur der hier bearbeiteten 16 Stationen von ihrem jeweiligen Durchschnitt gewählt (s.o.). Diese Manipulation erweist sich als günstig, da nur so die relative thermische Lage einer Station unabhängig vom zeitlich und periodisch wechselnden Betrag der räumlichen Temperaturstreuung wiederzugeben ist. Der Jahresgang einer zu allen Jahreszeiten um den gleichen Relativwert vom Durchschnitt abweichenden Station stellt sich dabei als Horizontale dar. Von dieser abweichende Verläufe veranschaulichen je nach Lage der Extreme stärker ozeanische oder stärker kontinentale Temperaturverhältnisse.

Jahresgang der relativen Temperatur
bezogen auf das Mittel aus 16 Westberliner Stationswerten (Ordinatenmaß: Standardabweichung)

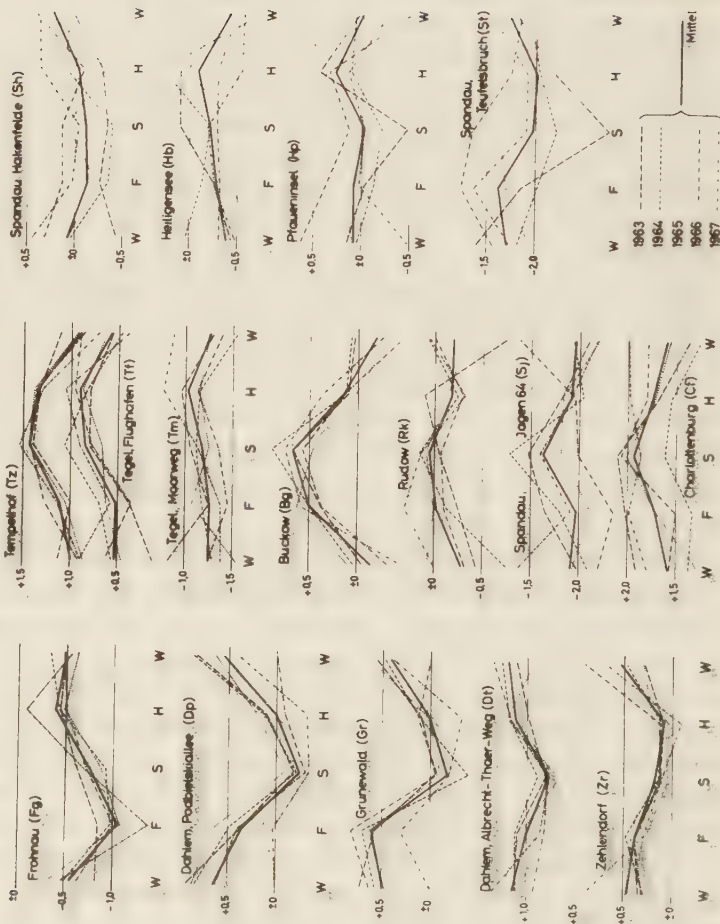


Abb. 27

Die Verwendbarkeit der Standardabweichung als Streuungsmaß erscheint gegeben, da die Temperaturdaten der 16 Stationen einigermaßen symmetrisch um ihren Mittelwert verteilt sind. Auch ist zu allen Jahreszeiten eine tendenzielle Häufung von Stationswerten im jeweils mittleren Temperaturbereich zu konstatieren. Es kann somit näherungsweise von einer Normalverteilung gesprochen werden, wenngleich diese hier von den Bedingtheiten der Stationsaufstellung im Untersuchungsgebiet herrührt.

Durch die gleichzeitige Darstellung der mittleren Verhältnisse mit den Jahresgängen der fünf Einzeljahre wird die Streuung der letzteren und damit der Verlässlichkeitsgrad der Mittelwertkurve unmittelbar anschaulich: Je enger sich die Einzeljahreskurven um die Mittelwertkurve scharen, um so eher darf man den Verlauf der letzteren als für den Meßort charakteristisch ansehen.

Um eine volle Jahresperiode darstellen zu können, findet sich der Winter auf der Abszisse zweimal abgetragen, entsprechend den beiden Winterintervallen von Tab. 23. Die zeitliche Aufeinanderfolge bleibt dabei gewahrt, so daß Anfangs- und Endwert der Kurven (die beiden Winterwerte) differieren können.

Unschwer ist zu erkennen, daß bei den meisten Stationen der Jahresgang der relativen Temperatur charakteristische, in den fünf Einzeljahren in ähnlicher Weise wiederkehrende Züge aufweist. Daß es sich bei solchen Übereinstimmungen um zufällig bewirkte handelt, darf ausgeschlossen werden. Wir haben in ihnen vielmehr Auswirkungen der Oberflächenqualität in der näheren und weiteren Stationsumgebung zu erblicken, also insbesondere den jeweiligen Anteil von Vegetation und Bebauung sowie der Geländeformung. Ohne zunächst die Kausalbeziehungen zu untersuchen, lassen sich die Westberliner Stationen ganz grob zwei Kategorien zuordnen. Ein Teil der Stationen (Abb. 27, linke Spalte) weicht im Sinne eines mehr ozeanischen Jahresganges vom Westberliner Stationsdurchschnitt ab, wobei

hierunter zunächst nur die Tendenz der Jahresamplitude verstanden sei. Ein größerer Teil der Stationen (Abb. 27, mittlere Spalte) zeichnet sich durch die entgegengesetzte Tendenz ihres Jahresganges aus. Bei Stationen mit stark unterschiedlichen Temperaturgängen der Einzeljahre (Abb. 27, rechte Spalte) sind fünf Meßjahre offenbar zu wenig, um auf das Regelmäßige ihres mittleren Jahresganges schließen zu können. Von diesen Stationen wird im folgenden allenfalls am Rande die Rede sein.

Eine Abweichung des Jahresganges in ozeanischer Richtung zeigt sich besonders charakteristisch bei der Station Frohnau (Fg). Die relative Temperaturdepression betrifft hier vor allem das Frühjahr, während die herbstlichen und winterlichen Werte bedeutend weniger erniedrigt sind. Den vier übrigen Stationen dieser Gruppe fehlt diese auffallende Asymmetrie. Ihre "Ozeanität" beschränkt sich auf eine Amplitudenabweichung der Temperaturkurve. Diese erreicht allerdings z.T. einen recht ansehnlichen Betrag. In einem Falle (Zr) zeigt die jahreszeitliche Temperaturabweichung eine in Bezug auf normale ozeanische Verhältnisse gegensinnige Asymmetrie.

Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, daß der die Kurvenmitte bezeichnende Sommer die Monate Juni bis August umfaßt, in Bezug auf das Sonnenjahr also bereits asymmetrisch angeordnet ist. Damit kommt die Klassenmitte des Sommers dem Zentralwert der jährlichen Temperaturverteilung in unserem Gebiet recht nahe. Daß dieser jedoch in der zweiten Hälfte des Juli zu vermuten ist, kann aus den im Vergleich zum Frühling stets etwas höheren Mitteltemperaturen des Herbstes gefolgert werden.

Auch die Stationen mit mehr kontinentaler Charakteristik des jahreszeitlichen Temperaturverlaufs lassen sich nach den Symmetrieverhältnissen ihrer relativen Temperaturabweichungen weiter untergliedern. So zeigen die drei zu oberst dargestellten Stationen (Abb. 27, mittlere Spalte) eine relative thermische Begünstigung des Herbstes, die der des Sommers nahekommmt oder sie übertrifft.

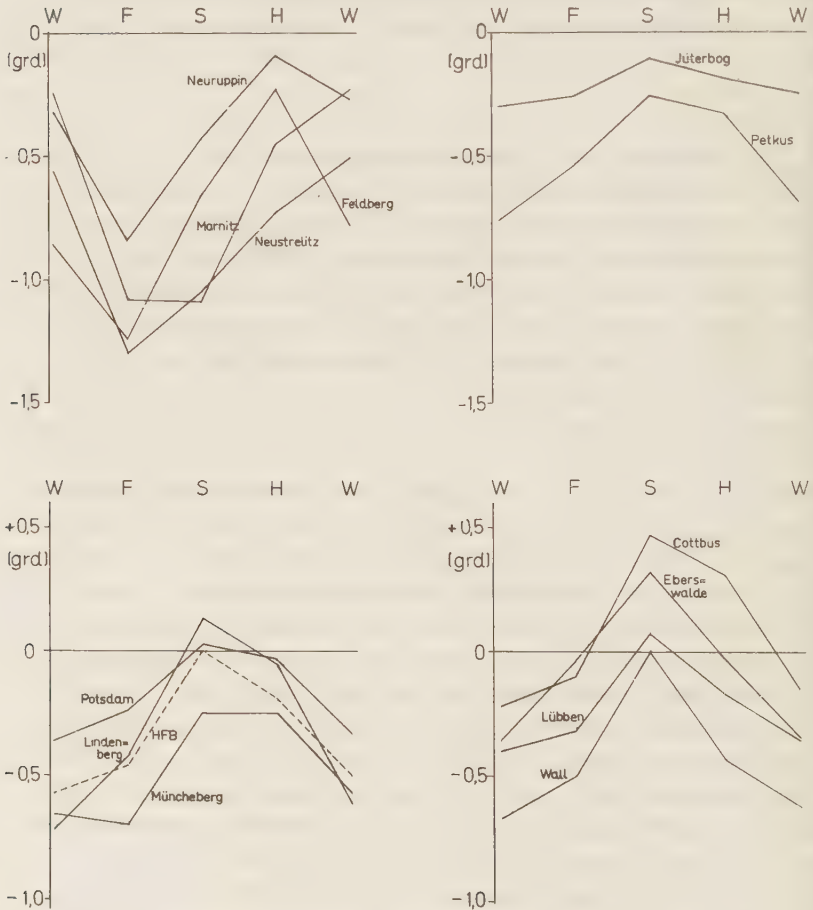
Eine relative Anhebung der Frühjahrs-temperatur neben der noch stärker abweichenden des Sommers ist besonders auffällig bei der darunter folgenden Station Buckow (Bg). Abgeschwächt findet sich dieser Verlaufstyp auch bei der Station Rudow (Rk) wieder. Die beiden letzten Stationen der Spalte stellen den symmetrischen Typ des mehr kontinentalen Temperaturverlaufs dar, wobei allerdings die Frühjahrs-werte besonders stark und z.T. gegenläufig streuen.

Betrachtet man nunmehr die Verteilung der Stationen innerhalb Westberlins (Abb. 18), so fällt auf, daß unter den "ozeanischen" Stationen nur solche der Peripherie angetroffen werden, während die beiden innerstädtischen Stationen (Cf und Tz) in Richtung auf kontinentalere Verhältnisse abweichen. Es wäre aber voreilig, hieraus den Schluß zu ziehen, daß die Stadt gegenüber ihrem Umland durch kontinentaleren Temperaturverlauf ausgezeichnet sei.

Abgesehen davon, daß der jeweilige Temperaturdurchschnitt aus den 16 Westberliner Stationen ein willkürliches Bezugsniveau darstellt, mußte noch geprüft werden, wie sich die Meßdaten von Klimastationen der Umgebung Berlins hierzu verhalten. Es ließ sich dabei keinesfalls voraussetzen, daß das auf die Westberliner Temperaturen abgestimmte Streuungsmaß auch für den Vergleich mit Umlandstationen verwendbar ist. In Abb. 28 ist daher der relative Temperaturgang an 13 Stationen der näheren und weiteren Umgebung Berlins direkt in Grad wiedergegeben, wobei als Bezugsniveau vorerst noch der jeweilige Temperaturdurchschnitt der 16 Westberliner Stationen diene. Bei fünf der Umlandstationen (Feldberg, Petkus, Eberswalde, Lübben und Wai) konnten nur Daten für einen viel-jährigen Zeitraum erhalten werden (HENDL 1969), die sich jedoch mittels Potsdam als Referenzstation auf den hier zugrundeliegenden 5-jährigen Zeitraum reduzieren ließen. Auf die Darstellung der Temperaturgänge der fünf Einzel-jahre wurde verzichtet, da die betr. Streuung in keinem

Abb. 28

Jahresgang der relativen Temperatur an Stationen der Berliner Umgebung, bezogen auf die jeweilige Durchschnittstemperatur der 16 Westberliner Klimastationen



Fälle die im mittleren Jahresgang zum Ausdruck kommende Stationscharakteristik verwischt.

Bereits ein flüchtiger Vergleich läßt erkennen, daß von einer verstärkten Kontinentalität des städtischen Klimas gegenüber dem der ländlichen Umgebung nicht die Rede sein kann. Im Gegenteil weisen die Berlin am nächsten gelegenen Stationen (s. Abb. 29) durchwegs eine beträchtlich größere Jahresschwankung der Temperatur auf als sie bei irgendeiner Westberliner Station angetroffen wird, die der Peripherie nicht ausgenommen.

Es lassen sich zwei bis drei im Jahresgang ihrer Temperatur charakteristisch unterschiedene Stationsgruppen ermitteln. Deutlich eigenständige Züge weist eine Gruppe von Stationen des Nördlichen Landrückens auf (Endmoränen des Mecklenburgischen Stadiums der letzten Vereisung). Hinzugenommen wurde die auf der Grundmoräne des Frankfurter Stadiums 60 km nordwestlich von Berlin gelegene Station Neuruppin, deren Temperaturgang mit dem der Landrückenstationen große Übereinstimmung zeigt. Das hervorstechende Merkmal, eine bedeutende negative Temperaturabweichung im Frühling, dürfte auf der relativen Nähe der hier vereinigten Stationen zur Ostsee beruhen, da in diese Jahreszeit das Maximum der Temperaturdifferenz zwischen Wasser- und Landflächen fällt. Dem entspricht auf der anderen Seite eine relativ hohe Herbsttemperatur. Die am höchsten und dazu am weitesten westlich gelegene Station Marnitz zeigt erwartungsgemäß die ozeanischen Züge am schärfsten ausgeprägt (Ausdehnung der Temperaturdepression des Frühlings auch auf den Sommer, der herbstlichen Temperaturgunst auf den Winter). dagegen ist Feldberg, die östlichste der Landrückenstationen, schon relativ winterkalt, was deutlich das in diesem Bereich steile ozeanisch-kontinentale Gefälle zum Ausdruck bringt.

Die übrigen Stationen verhalten sich in ihren Temperaturabweichungen gegenüber dem Westberliner Stationsdurch-

Klimastationen in der Umgebung Berlins

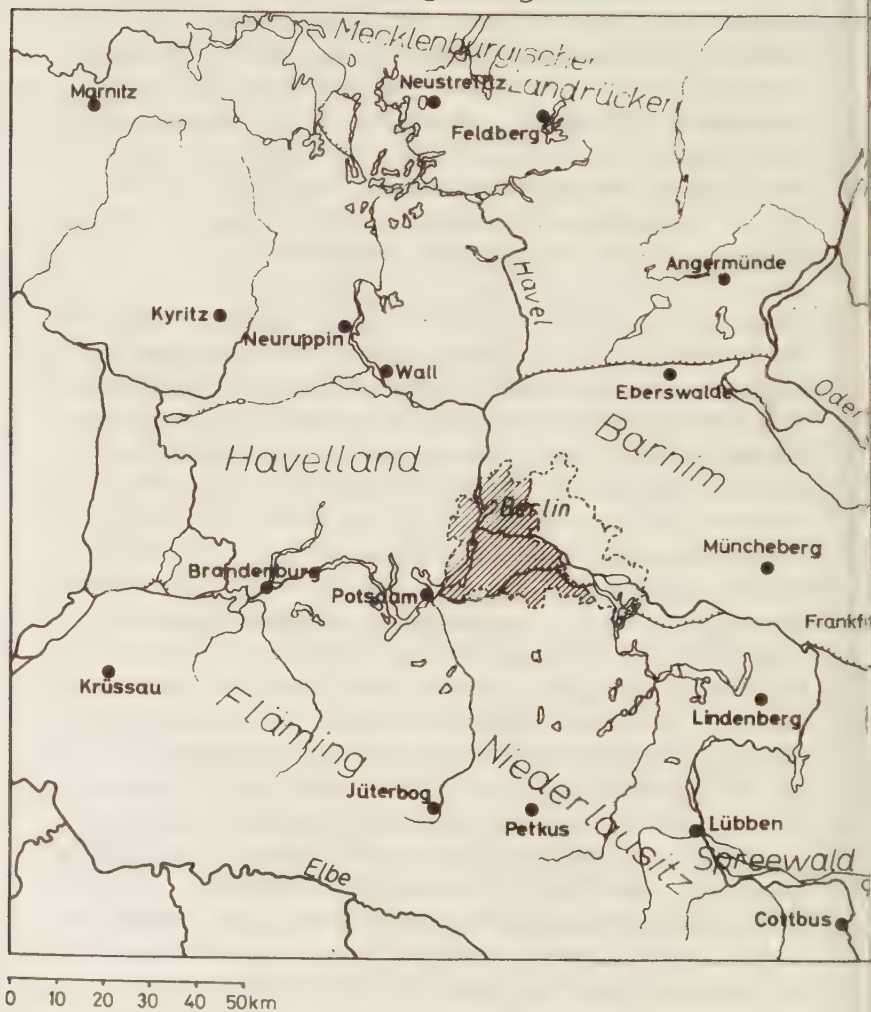


Abb. 29

schnitt auf den ersten Blick recht einheitlich. Das gilt zumindest für die Stationen der Grundmoränenplateaus und der höher gelegenen des Südlichen Landrückens (Fläming und Niederlausitz). Unter den ersteren fällt Potsdam, unter den letzteren Jüterbog durch einen verhältnismäßig geringen Betrag an Kontinentalität auf.

Die Vermutung liegt nahe, daß es sich in beiden Fällen um stationslagebedingte Beeinträchtigungen der großklimatischen Repräsentativität handelt. Für Jüterbog waren mir entsprechende Informationen nicht verfügbar. Dagegen sind für Potsdam die entsprechenden Gegebenheiten mehrfach kritisch erörtert worden, zuletzt von BRANICKI (1963). Charakteristisch für die Beobachtungswiese ist hiernach die Verbindung von Waldlichtungs- und relativ großer Höhenlage (80,82 m über NN, ca. 51 m über Havelniveau). Ein hochgelegener Aufstellungsort wird im Flach- und Hügelland allgemein als für eine Netzstation vorteilhaft angesehen. Der durch die Lichtungslage bedingte erhebliche Windschutz verändert aber die thermischen Eigenschaften der Station und erhöht insbesondere den Betrag der nächtlichen Abkühlung. Gemildert wird dieser Effekt durch eine wenngleich schwache Geländeneigung im Stationsbereich, welche das Abfließen der sich bildenden Kaltluft begünstigt. Dennoch gleicht, BRANICKI zufolge, "die Beobachtungswiese mehr einer Tal- als einer Hügelstation".

Wie noch an Hand der peripheren Westberliner Stationen zu zeigen sein wird, betrifft die durch Windschutz erzielte Erniedrigung der Temperaturminima und damit auch - in geringerem Maße - der Temperaturmittel hauptsächlich die sommerliche Periode. Infolgedessen zeigen solche Stationen relativ niedrige (ozeanische) Sommer-Winter-Differenzen der Temperatur, was mit den für Potsdam erhaltenen Daten übereinstimmt. Ob neben dem Lichtungseffekt noch andere Ursachen für die Jahresganganomalie der Station in Frage kommen, ist noch ungeklärt. Ein Stadteinfluß kann nicht völlig ausgeschlossen werden. Indessen deuten die relativ großen Herbst-Frühlings-Differenzen

der Temperatur darauf hin, daß hier den nahegelegenen ausgedehnten Wasserflächen wohl die größere Bedeutung zukommt. Aus alledem folgt, daß die Einschätzung HENDLS (1969) anzuzweifeln ist, derzufolge das "Observatorium Potsdam am ehesten als repräsentativ für die zentralen Platten" erscheint. Die an gleicher Stelle konstatierte "bemerkenswerte thermische Begünstigung der Platten" gegenüber den Urstromtal-Niederungen, eine Einschätzung, die sich nahezu ausschließlich auf die Potsdamer Daten stützt, ist daher gleichfalls in Frage zu stellen.

Von den Plateaustationen unterscheiden sich die Klimastationen der Niederung nur geringfügig, was den charakteristischen Temperaturgang betrifft. Lediglich ein etwas steilerer Abfall der Herbstwerte gegenüber den Sommerwerten läßt sich konstatieren. Dieser ist möglicherweise als Verstärkung der regionalen Kontinentalität durch die lokalen Bedingungen der Niederungslage zu interpretieren; denn neben einer hohen Jahresschwankung der Temperatur ist auch eine relativ geringe zeitliche Verschleppung der jährlichen Temperaturextreme für das kontinentale Klima bezeichnend.

Es scheint nunmehr festzustehen, daß keine der Stationen Westberlins Freilandverhältnisse repräsentiert. Das gilt auch und besonders für die Waldlichtungsstation S_j im Spandauer Forst, welche SCHERHAG (1963) durchaus zu Unrecht als "zur Reduktion sämtlicher Beobachtungen auf das freie Land" geeignet ansah. Gegen die Brauchbarkeit als makroklimatisch repräsentative Freilandstation sprechen sowohl der untypische Temperatur-Jahresgang als auch die relative Verspätung der Vegetationsentwicklung gegenüber waldfernen Freilandstandorten, entsprechend einer negativen Temperaturabweichung (Jahres-Klimamittel) von ca 1/2 grd. Auch Frohnau, Plateaurandstation im äußersten Norden Berlins, kann in dieser Hinsicht nicht befriedigen. Bei dieser Station deutet sich allerdings eine Verbindung zu dem frühjahrskalten und herbstwarmen Klima der nördlicheren Gebiete an; doch kann auch eine lokale Verursachung des betr. Jahresganges nicht ausgeschlossen

werden. Eine Überprägung durch stadttypische Klimazüge muß selbst hier, 17 km vom Stadtkern entfernt, als wahrscheinlich gelten, da die weniggleich gesicherten Abweichungen vom Westberliner Durchschnitt dem Betrage nach nicht entfernt an diejenigen der Umlandstationen heranreichen.

Auf die Möglichkeit erheblicher Abweichungen der jahreszeitlichen Stadt-Land-Differenzen der Temperatur von der gleichzeitigen räumlichen Temperaturstreuung innerhalb des weiteren Stadtgebietes war bereits hingewiesen worden. Vergleicht man daraufhin die Aussagen von Abb. 26 und 28, so wird deutlich, daß sich die Temperaturdifferenzen zwischen der Stadt und Stationen der weiteren Umgebung im großen und ganzen sogar invers zu den entsprechenden innerstädtischen Differenzen (incl. Randgebiete) verhalten. In dieser Eindeutigkeit erscheint der Befund überraschend. Er wirft eindringlich die Frage nach der Aussagefähigkeit klimatologischer Stadt-Land-Differenzen auf, soweit diese auf Daten eines einzigen Stationspaares beruhen, die Außenstation in der Regel stadtrandnah gelegen (vgl. die betr. Beispiele in KRATZER 1956).

Die Analyse der betr. Berliner Verhältnisse unter Verwendung der aus Abb. 28 hervorgehenden Temperaturgänge der weiteren Umgebung hat zur Voraussetzung den Bezug auf eine geeignete Freilandstation. Dabei braucht es sich nicht unbedingt um eine konkrete Einzelstation zu handeln. Im vorliegenden Fall wurde versucht, aus den Temperaturdaten von fünf den Berliner Raum mehr oder weniger gut charakterisierenden Umlandstationen eine *H y p o - t h e t i s c h e F r e i l a n d s t a t i o n B e r - l i n* (HFB) abzuleiten. Auf diese Weise wird eine Vergleichsbasis gewonnen, von der aus sich die Spezifität des Berliner Klimas quantitativ besser beurteilen läßt als im Vergleich mit nur einer einzigen Station der Berliner Umgebung; denn offensichtlich vermag keine der Stationen im Gebiet zwischen Nördlichem und Südlichem

Landrücken die freie Umgebung Berlins allein zu vertreten. Die HFB sei definiert durch das jederzeitige arithmetische Mittel der an den fünf Stationen ermittelten Temperaturdaten. Von einer getrennten Zuordnung von Stationen der Spree- und Havelniederung zu Niederungsstationen der Umgebung und von Stadtstationen in Plateaulage zu entsprechend gelegenen Umlandstationen kann man absehen, da, wie schon angemerkt, die Jahresgangunterschiede beider Lagen in der Berliner Umgebung sich nicht als sehr erheblich erweisen (Abb. 28). Innerhalb der Stadt tritt ferner die thermische Wirkung von Niveauunterschieden gegenüber der von Bebauung und Vegetation derart zurück, daß die Möglichkeit einer Differenzierung fraglich erscheint.

Wie sich die HFB im einzelnen konstituiert, sei nunmehr ausgeführt. Das Berlin im Westen und Norden tangierende Klima der havelländischen Flachmoorgebiete dürfte durch die Station Wall, knapp 50 km nordwestlich der Berliner Innenstadt, gut repräsentiert sein. Die entsprechende südöstliche Urstromtalstation ist Lübben, etwa 70 km von Berlin-Mitte entfernt, am Rande des Spreewaldes gelegen. Für die vielfach zertalten wald- und seenreichen Plateaus im Südwesten Berlins können die Daten der Säkularstation Potsdam Verwendung finden. Die Ähnlichkeit der beiden letztgenannten Stationen in ihrem bei hoher Mitteltemperatur relativ ozeanischen Jahresgang läßt an die Wirkung der umgebenden Wasserflächen als gemeinsamen Klimafaktor denken, der auch für Teile von Berlin Bedeutung besitzt. Lindenberg, die Station mit der größten Jahresschwankung der Temperatur im Gebiet, besitzt freilich ebenfalls eine wasserreiche Umgebung und repräsentiert das seenreiche Hügelland im Südosten. Für das weniger seenreiche Plateau des Teltow, im Süden von Berlin, fehlen Temperaturangaben. Doch kann dieses Gebiet als durch das begrenzende Stationspaar Lindenberg/Potsdam gemeinsam hinreichend repräsentiert angesehen werden. Die Randlagen der in südöstlicher Richtung nach Berlin abdachenden Barnimplatte sind vertreten durch die Stadt

Müncheberg, 50 km östlich vom Stadtkern Berlins gelegen.

Der Temperaturgang der HFB im 5-jährigen Mittel wird durch die jahreszeitlichen Mittelwerte wie folgt veranschaulicht: Winter $-1,4^{\circ}\text{C}$ (1962/63 - 1966/67) bzw. $-0,3^{\circ}\text{C}$ (1963/64 - 1967/68), Frühling $+7,9^{\circ}\text{C}$, Sommer $+17,5^{\circ}\text{C}$ und Herbst $+9,0^{\circ}\text{C}$.

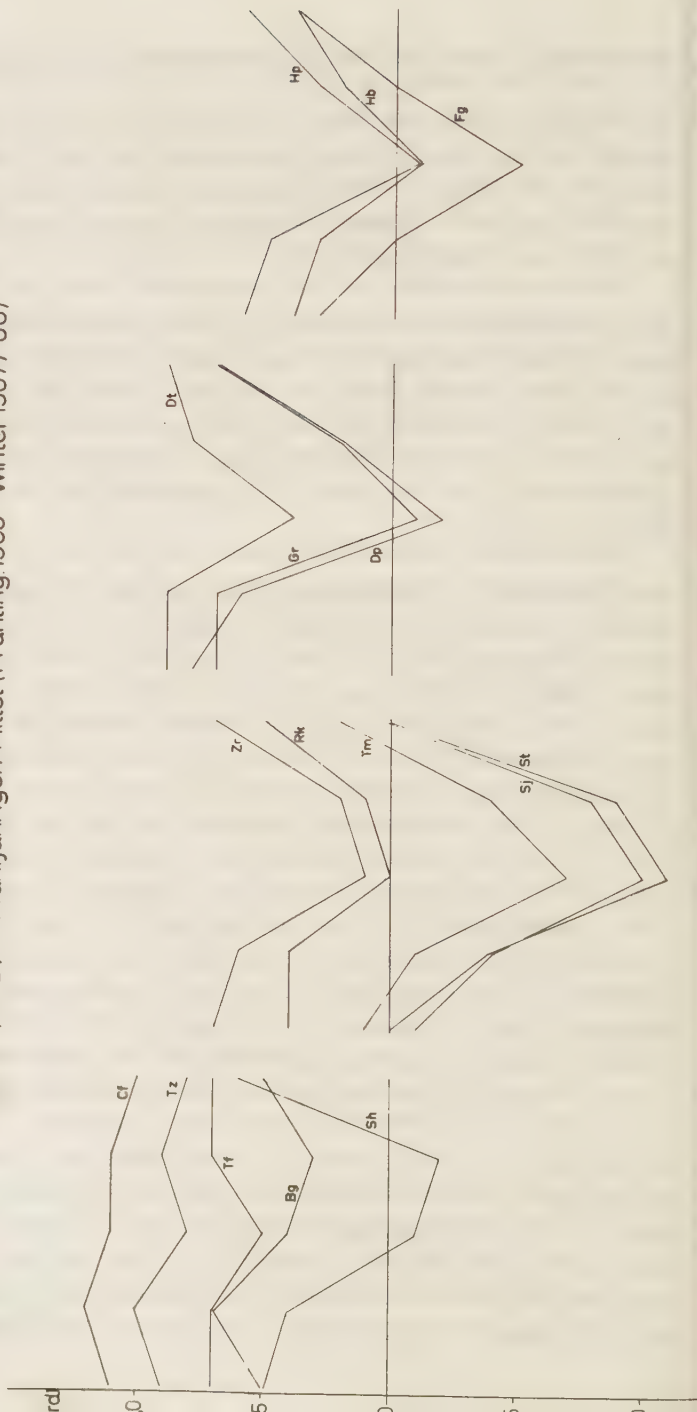
Die jahreszeitlichen Abweichungen der Temperatur der Westberliner Stationen von denjenigen der HFB finden sich in Abb. 30 dargestellt. Die betr. Jahresgänge lassen sich als Abwandlungen des potentiellen Freilandklimas am Ort der Stadt interpretieren, mit gewissen Einschränkungen auch als durch Eigenschaften des Stadtgeländes bedingte.

Ohne zunächst auf unterschiedliche Jahresgangtypen innerhalb Westberlins einzugehen, können zwei charakteristische Merkmale des städtischen Temperaturjahresganges verallgemeinernd festgehalten werden. Am auffälligsten erscheint die relative Depression der Temperaturen des Sommers gegenüber denen des Winters, also eine Abwandlung in Richtung auf ozeanischere Verhältnisse. Die relative Depression der Herbstwerte gegenüber denjenigen des Frühjahrs, die nahezu alle Westberliner Stationen auszeichnet, stellt dagegen formal eine Verstärkung kontinentaler Klimazüge dar. Wie die im Stadtgebiet im Vergleich zum Umland zu konstatierende gleichzeitige Zunahme ozeanischer wie kontinentaler Tendenzen im Jahresgang der Temperatur zeigt, müssen hier andersartige Ursachen zugrundeliegen als die, welche für das große räumliche Gefälle der Kontinentalität verantwortlich sind.

Es empfiehlt sich, die Frage nach den Ursachen zunächst zurückzustellen und zunächst der räumlichen Variation des typischen Jahresganges zwischen Stadtkern und Stadtrand nachzugehen. Dabei gelangt man zu der erstaunlichen Feststellung, daß es keineswegs die innerstädtischen und relativ warmen Stationen sind (Cf, Tz, Tf), bei denen

Abb. 30

Jahreszeitliche Temperaturdifferenzen der Westberliner Klimastationen zur Hypothetischen Freilandstation
 Berlin (HFB) im fünfjährigen Mittel (Frühling 1963 – Winter 1967 / 68)



der als stadttypisch vermutete Jahresgang am stärksten ausgeprägt ist. Diese zeigen ihn nur in Andeutungen, wohingegen gerade die Stationen in Waldrand- und Waldlichtungslage (Sj, St, Tm) sowie solche, die in vegetationsreichen Villenvororten gelegen sind (Gr, Dp), den Typus am reinsten verkörpern.

Andererseits kann man wohl auf Grund der vorliegenden Informationen noch nicht von einer ozeanisch-kontinentalen Temperaturanomalie des Stadtrandgebietes sprechen, so sehr auch das Ergebnis eine solche naheulegen scheint. Man darf nicht vergessen, daß die Aufstellungsnormen für makroklimatisch messende Stationen Repräsentativität für ein größeres Gebiet anstreben, während mit den Klimahütten des Westberliner Netzes beabsichtigt war, lokale Sonderverhältnisse zu erfassen. Bei den peripheren Stationen dürfte das Auffinden der kältesten Punkte des Stadtgebietes im Vordergrund des Interesses gestanden haben, weshalb nicht frei exponierte Geländestellen ausgewählt wurden, sondern Lichtungen, Talsohlen, Gärten etc.

An den wenig stadtbeeinflussten Stationen der Peripherie erweist sich die Anomalie gegenüber der HFB im wesentlichen als eine der Sommertemperaturen bzw. der Temperaturverhältnisse zur Vegetationsperiode, was festgehalten zu werden verdient. Die Vermutung liegt nahe, daß es sich hierbei um Auswirkungen der Transpiration durch die benachbarten Vegetationsflächen handelt (Verdunstungskälte); doch müßte sich dies zutreffendenfalls vorwiegend in den Maxima abbilden, was nicht der Fall ist. Dagegen zeigen die Minima den entsprechenden Jahresgang verstärkt (s. 6.4.2.2). Daher dürfte eher die windgeschützte Lage der betr. Stationen den Ausschlag geben, wodurch hier in klaren Sommernächten eine verhältnismäßig raschere Abkühlung stattfinden kann. GEB (1970) verweist auf diesen Umstand in Erklärung der im Sommer an der Station Dahlem anzutreffenden negativen Temperaturanomalie. In der Innenstadt dürften hingegen auch relativ eingengt stehende, hinreichend windgeschützte Stationen (die beiden

Westberliner Innenstadtstationen Cf und Tz sind untypisch offen gelegen) keine negative Temperaturanomale aufweisen, da hier andere Gegebenheiten wirksam werden (Temperaturstrahlung von Baukörpern etc.).

Bleibt zu erklären, weshalb der temperaturerniedrigende Effekt der windgeschützten Lagen vorwiegend im Sommer erkennbar wird. Dies hat seinen Grund einmal in dem zu dieser Jahreszeit höheren Temperaturniveau selbst, wodurch größere Energiebeträge je Zeiteinheit als Temperaturstrahlung verloren gehen. Zum anderen weist die Abkühlung in sommerlichen Nächten auch deshalb einen größeren Betrag auf, weil die Zahl der Tage mit Windruhe im Sommer größer und die mittlere Windgeschwindigkeit geringer ist als in der kalten Jahreszeit (s. Tab. 17). Drittens stellt der Pflanzenbewuchs während der Vegetationsperiode eine wirksame Isolierschicht gegen die nächtliche Nachlieferung von Wärme aus dem Boden dar, wie sie im Winter nur bei geschlossener Schneedecke anzutreffen ist. Dies wird auch im Jahresgang der mittleren Tagesschwankung der Temperatur deutlich (6.4.2.2).

Zur Erklärung der relativen "Frühjahr-Herbst-Kontinentalität" der Stadtrandstationen sollten nach Möglichkeit die gleichen Faktoren oder mit ihnen korrelierte herangezogen werden, da beide Anomalien offensichtlich in einem engen Zusammenhang stehen. Grundsätzlich kann eine Veränderung in der Eintrittszeit der jährlichen Temperaturextreme (stellvertretend für Veränderungen in der Frühjahr-Herbst-Differenz der Mitteltemperatur) von zwei Ursachen bewirkt werden. Zum einen wäre an jahreszeitliche Veränderungen der energieumsetzenden Oberflächen zu denken, die etwa in unterschiedlicher Strahlungsbilanz oder Verdunstungsmenge zum Ausdruck käme. Zum anderen können aber auch Unterschiede in den Energiespeichungsverhältnissen die Ursache sein. Eine Beurteilung der jahreszeitlichen Unterschiede in den Strahlungseigenschaften stadtrandtypischer Oberflächen im Vergleich mit denen der freien Umgebung ist ohne exakte Messungen

schwer möglich. Nach Kenntnis der Grenzen, innerhalb derer die Emissivität natürlicher Materialien schwanken kann (DIRMHIRN 1964) kommt der betr. Faktor wohl nicht in Frage. Auch jahreszeitliche Unterschiede der Albedo dürften keine wesentliche Ursache darstellen. Es ist kaum einzusehen, daß sich peripheres Stadtgebiet und weitere Umgebung hinsichtlich ihrer Albedo sehr unterschiedlich verhalten sollten. Entsprechende Überlegungen, die aktuelle Verdunstung betreffend, führen ebenfalls zu keiner befriedigenden Erklärung.

Denkbar ist jedoch ein Einfluß der für die Stadtrandstationen typischen geschützten Lage über die Energiespeicherung. Der Boden als einziges hinreichend speicherfähiges System - die Vegetation vermag keine nennenswerten Energiebeträge zu speichern (vgl. BAUMGARTNER 1971) - ist vor der direkten kurzwelligen Bestrahlung in unterschiedlichem Ausmaß durch schlecht wärmeleitende Vegetation abgeschirmt. Je größer und hochreichender die Vegetationsbedeckung, um so weniger ist der Boden am Gesamtenergieumsatz beteiligt, um so geringer daher die thermische Phasenverschiebung. Kommt noch eine Austauschbehinderung (windgeschützte Lage der betr. Station) hinzu, so wird eine relative Erniedrigung der Herbst- und Erhöhung der Frühjahrstemperaturen gegenüber den offen gelegenen Stationen der Umgebung folgen müssen. Gleiches wird gegenüber dem gebauten Substrat des Stadttinneren der Fall sein, das durch weitgehend fehlende Abschirmung und ausgezeichnete Eigenschaften der Wärmeleitung und -speicherung die Erwärmung im Frühjahr ebenso wie die Abkühlung im Herbst verzögern dürfte.

Natürlich sind die betr. Verhältnisse durch eine derartige Interpretation noch nicht als einwandfrei abgeklärt zu betrachten. Bislang kann ihnen lediglich eine Bedeutung als Hypothese beigemessen werden, welche eine Richtung angibt, in der gezielte Untersuchungen Erfolge zeitigen könnten.

Zusammenfassend ist festzustellen, daß zwischen der wärmsten und kältesten Station Westberlins selbst im Jahresmittel mehr als $1\frac{1}{2}$ grd Differenz zu verzeichnen sind. Die größte Temperaturstreuung weist der Sommer, die niedrigste der Winter auf. Die herbstlichen Streuungswerte sind größer als die des Frühjahrs. Die Temperaturdifferenz zwischen Stationen der Innenstadt und typischen Freilandstationen der weiteren Umgebung (HFB) zeigt hingegen keinen besonders charakteristischen Jahresgang (Abb. 31). Es sind somit die zumeist windgeschützten Stationen der Villenvororte und Waldgebiete Westberlins, welche sowohl gegenüber der Innenstadt als auch gegenüber der freien Umgebung eine beträchtliche Anomalie in ihrem jährlichen Temperaturgang erkennen lassen. Diese besteht charakteristischerweise in einer Erniedrigung des sommerlichen Temperaturmittels um bis zu einem Grad gegenüber HFB und eine Verringerung der Temperaturdifferenz Herbst-Frühjahr um etwa den halben Betrag der Sommerdepression. Bedauerlicherweise ist es gerade die Westberliner Hauptstation in Dahlem (Dp), an der diese Anomalie mit am stärksten in Erscheinung tritt. Die Einrichtung wenigstens einer frei gelegenen, allseits windexponierten Klimastation im peripheren Bereich Westberlins erscheint geboten. Vorrangig kommt hierfür das Gebiet westlich der Unterhavel in Betracht.

6.4.2.2 Mittlere tägliche Extremwerte und mittlere Tagesschwankung der Temperatur

Von den Extremwerten sind biologisch interessant vor allem Häufigkeit und zu erwartende Andauer bestimmter Grenzwertüberschreitungen, deren Ermittlung jedoch einen beträchtlichen Arbeitsaufwand erfordert, der den Rahmen dieser Untersuchung gesprengt hätte. Hier sollen lediglich, in Ergänzung zur Bearbeitung der Temperaturmittel und in Bezug auf diese, Anhaltspunkte für das ungefähre räumliche und jahreszeitliche Verhalten der Maxima und Minima innerhalb Westberlins gegeben werden. Leider ist

Jahreszeitlicher Gang der Temperaturdifferenzen

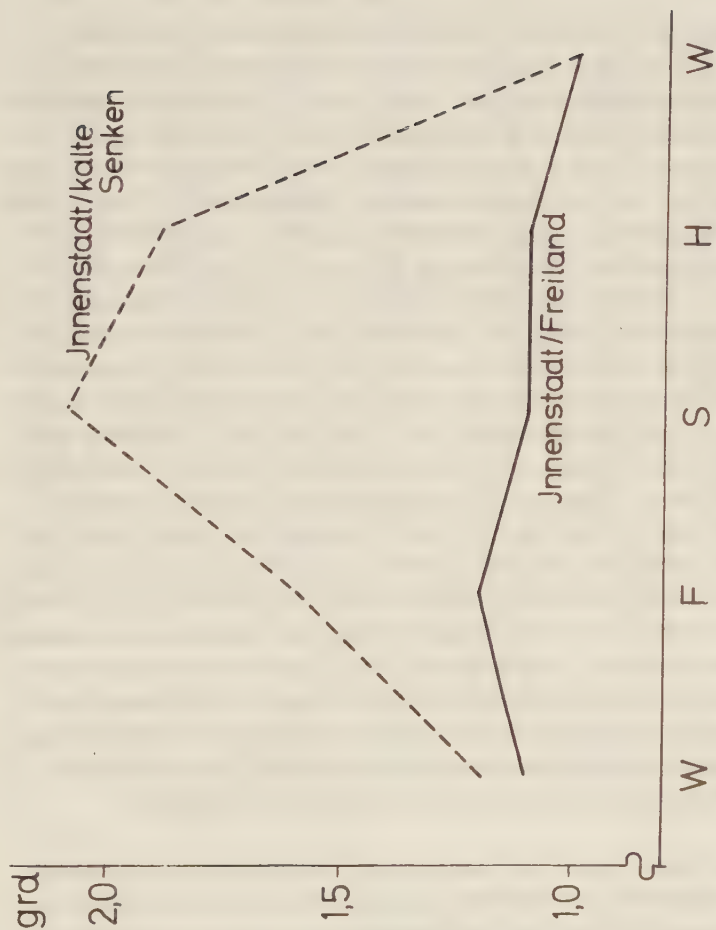


Abb. 31

das betr. 5-jährige Material für die DDR noch nicht veröffentlicht, so daß die Möglichkeit entfällt, die Stadt, wie bei den Mitteltemperaturen, mit repräsentativen Freilandstationen zu vergleichen.

Nach den im vorigen Abschnitt gewonnenen Einsichten dürfte es auch für die Temperaturextreme nicht ohne weiteres angehen, aus der Verteilung im Untersuchungsgebiet Schlüsse auf die charakteristischen Stadt-Freiland-Differenzen abzuleiten. Andererseits war klargeworden, daß die bei den Mitteltemperaturen festgestellte "Stadttrand-anomalie" mit hoher Wahrscheinlichkeit ein Effekt der Aufstellungsgegebenheiten der betr. Klimahütten darstellt, und es liegt nahe, die hierbei als wirksam erkannten Ursachen sinngemäß zur Erklärung des Extremwertverhaltens heranzuziehen. Wenn etwa für die Sommer-Winter-Ozeanität der Stadttrandstationen deren windgeschützte Lage verantwortlich gemacht wurde, so folgt aus der besonders großen Windabhängigkeit der Minimumtemperaturen, daß diese die betr. Anomalie in verstärktem Maße zeigen müssen. Für die Maxima wäre ein weit geringerer, wenn nicht sogar entgegengesetzter Effekt zu erwarten, wobei im Sommer einer die Höchsttemperaturen erhöhenden (die "Ozeanität" verringernden) Gegebenheit, dem Windschutz, extremwertdämpfende Eigenschaften der vegetationsbedeckten Umgebung gegenüberstehen (Abhebung der Fläche maximalen Energieumsatzes vom Erdboden; Transpirationskälte). Die tatsächlich angetroffenen Verhältnisse bestätigen im wesentlichen die Richtigkeit der betr. Annahmen.

Die Daten sind den Tabellen 25, 26 und 27 zu entnehmen. Es handelt sich wiederum um in der englischen Hütte gemessene Werte. Bei der Tagesschwankung wäre grundsätzlich die periodische die interessantere gewesen. Sie stellt die Differenz des höchsten und niedrigsten Stundenmittels dar und würde daher stündliche Auswertung der Temperaturregistrierung erforderlich machen. Hier wurde nur die durch Differenzbildung aus den mittleren Tagesextremen (Tab. 25 und 26) erhaltene aperiodische Tagesschwankung

Tabelle 25 Mittlere tägliche Temperaturmaxima an West-
berliner Klimastationen

Station	1962/63- - 66/67	1963 - 1967			1963/64 -67/68	Jahr ¹⁾	Jahr ²⁾
	Winter	Frühling	Sommer	Herbst	Winter		
Cf	1,8	13,0	32,1	13,6	2,8	12,9	13,1
Tz	1,8	12,9	23,0	13,6	2,8	12,8	13,1
Dt	<u>1,4</u>	12,6	22,6	13,3	<u>2,2</u>	12,5	12,8
Tf	1,7	12,8	22,9	13,5	2,7	12,7	13,0
Bg	1,7	13,3	23,4	13,6	2,7	13,0	13,2
Zr	<u>1,9</u>	13,2	23,2	13,6	<u>2,9</u>	13,0	13,2
Gr	1,8	<u>13,5</u>	23,2	13,6	2,7	13,0	13,2
Dp ³⁾	1,7(2,7)	13,1(13,3)	22,9(22,7)	13,3(13,0)	2,7(2,7)	12,7(12,9)	13,0(12,9)
Hp	1,5	13,0	22,9	13,4	2,5	12,7	13,0
Sh	1,8	13,4	<u>23,6</u>	<u>13,7</u>	2,8	<u>13,1</u>	<u>13,4</u>
Rk	1,7	13,2	23,4	13,5	2,7	13,0	13,2
Hb	1,5	12,9	22,8	13,3	2,6	12,6	12,9
Fg	<u>1,4</u>	<u>12,5</u>	<u>22,5</u>	<u>13,1</u>	<u>2,2</u>	<u>12,4</u>	<u>12,7</u>
Tm	1,5	12,9	22,8	13,4	2,6	12,7	12,9
Sj	<u>1,4</u>	12,7	22,8	13,2	<u>2,2</u>	12,5	12,8
St	1,5	13,0	22,9	13,4	<u>2,2</u>	12,7	13,0

- 1) Mittelwert Dezember 1962 bis November 1967
- 2) Mittelwert März 1963 bis Februar 1968
- 3) in Klammern: Normalwerte des Zeitraumes 1909 bis 1969 (ohne 1945)

Tabelle 26

Mittlere tägliche Temperaturminima an Westberl
Klimastationen

	1962/63 - 66/67	1963 - 1967			1963/64 - 67/68	
Station	Winter	Frühling	Sommer	Herbst	Winter	Jahr ¹⁾
Cf	<u>-2,6</u>	<u>5,1</u>	<u>13,8</u>	<u>7,0</u>	<u>-1,4</u>	<u>5,8</u>
Tz	-3,1	4,5	13,2	6,5	-2,0	5,3
Dt	<u>-2,6</u>	4,8	13,0	6,8	<u>-1,4</u>	5,5
Tf	-3,4	4,1	12,7	6,2	-2,2	4,9
Bg	-3,9	3,7	12,1	5,5	-2,5	4,4
Zr	-3,4	4,3	12,7	5,9	-2,1	4,9
Gr	-3,3	4,2	12,3	5,9	-2,1	4,8
Dp ³⁾	-3,3(-2,5)	4,1(3,9)	12,2(12,2)	5,8(5,5)	-2,1(-2,5)	4,7(4,8)
Hp	-3,5	4,0	12,5	6,2	-2,2	4,8
Sh	-3,6	3,6	11,8	5,6	-2,3	4,3
Rk	-3,9	3,6	11,8	5,4	-2,5	4,2
Hb	-3,7	3,6	12,0	5,6	-2,5	4,4
Fg	-4,5	2,6	10,9	5,0	-3,1	3,5
Tm	-4,2	2,7	11,0	4,8	-2,9	3,5
Sj	<u>-4,2</u>	<u>1,8</u>	<u>9,5</u>	<u>3,8</u>	<u>-3,5</u>	<u>2,6</u>
St	<u>-4,2</u>	2,4	9,7	<u>3,8</u>	-3,4	2,7

1) Mittelwert Dezember 1962 bis November 1967

2) Mittelwert März 1963 bis Februar 1968

3) in Klammern: Normalwerte des Zeitraums 1909-1969(ohne)

Tabelle 27 Mittlere aperiodische Tagesschwankung der Temperatur an Westberliner Klimastationen

Station	1962/63 - 66/67	1963 - 1967			1963/64 - 67/68	Jahr ¹⁾	Jahr ²⁾
	Winter	Frühling	Sommer	Herbst	Winter		
Cf	4,3	7,9	<u>9,3</u>	<u>6,6</u>	4,2	<u>7,0</u>	<u>7,0</u>
Tz	4,9	8,4	9,7	7,1	4,8	7,5	7,5
Dt	<u>4,0</u>	<u>7,8</u>	9,4	<u>6,6</u>	<u>3,2</u>	<u>7,0</u>	<u>7,0</u>
Tf	5,3	8,7	10,2	7,3	4,9	7,9	7,8
Bg	5,6	9,6	11,2	8,1	5,2	8,6	8,5
Zr	5,4	8,9	10,4	7,7	5,0	8,1	8,0
Gr	5,1	9,3	10,9	7,7	4,8	8,2	8,1
Dp ³⁾	5,0(5,2)	9,0(9,4)	10,8(10,5)	7,5(7,5)	4,8(5,2)	8,0(8,1)	8,0(8,1)
Hp	5,0	9,0	10,4	7,2	4,7	7,9	7,9
Sh	5,5	9,8	11,8	8,2	5,1	8,8	8,7
Rk	5,6	9,7	11,6	8,2	5,2	8,8	8,6
Hb	5,2	9,3	10,8	7,7	5,1	8,2	8,2
Fg	5,9	9,9	11,6	8,2	5,6	8,9	8,9
Tm	5,8	10,2	11,9	8,6	5,5	9,1	9,0
Sj	6,3	<u>10,2</u>	<u>13,3</u>	9,4	<u>6,0</u>	<u>9,2</u>	<u>9,2</u>
St	<u>6,4</u>	10,6	13,2	<u>9,6</u>	5,9	<u>9,2</u>	<u>9,2</u>

1) Mittelwert Dezember 1962 bis November 1967

2) Mittelwert März 1963 bis Februar 1968

3) in Klammern: Normalwerte des Zeitraums 1909-1969
(ohne 1945)

kung verwendet, in die auch die zirkulationsbedingten Witterungsänderungen als Störfaktor eingehen. Dies wirkt sich in unserem Klima besonders während der kalten Jahreszeit aus, wo zirkulationsbedingte Temperaturschwankungen den relativ größten Anteil an der Gesamtschwankung erlangen (HENDL 1969). Dem absoluten Betrage nach bleibt der Unterschied der beiden Parameter jedoch annähernd gleich: Die aperiodische Schwankung übertrifft die periodische zu allen Jahreszeiten um etwa zwei Grad.

Als für das allgemeine Klima unseres Gebietes charakteristisch fällt auf, daß die mittlere Jahresschwankung (Sommer-Winter) bei den Maxima um etwa 5 grd höhere Werte erreicht als bei den Minima, was, wie aus Tab. 27 zu ersehen ist, ein Ergebnis der um diesen Betrag geringeren mittleren Temperatur-Tagesschwankung des Winters gegenüber dem Sommer darstellt. Wie schon für die Temperaturmittel festgestellt, erweist sich auch bei den Extremwerten der Frühling gegenüber dem Herbst als kälter. Die betr. Differenzen betragen bei den Minima etwa 2 grd, bei den Maxima jedoch nur etwa $1/2$ grd. Auch dieser Befund muß im Zusammenhang mit der Tagesschwankung der Temperatur gesehen werden, die im Frühling um durchschnittlich 1,5 grd größer ist als im Herbst.

Die räumliche Temperaturstreuung im Untersuchungsgebiet ist am weitaus größten bei den Minima und zwar zu allen Jahreszeiten. Dabei erreicht die Differenz zwischen kältester und wärmster Station im Sommer 4,3 grd (Mittelwert!). Mit durchschnittlich 2,2 grd sommerlicher Streubreite folgen die Mitteltemperaturen, während bei den Maxima der entsprechende Wert 1,1 grd beträgt. Die mittlere Tagesschwankung streut im Sommer (4,0 grd) wie auch zu den anderen Jahreszeiten kaum weniger als die mittleren Minima. Alle thermischen Parameter weisen im Sommer die größte, im Winter die geringste räumliche Streuung auf. Von den Übergangsjahreszeiten zeigt bei den Maxima der Frühling, bei den Mitteltemperaturen der Herbst deutlich die größere Streuung. Bei Minima und Tagesschwankung

ergeben sich für beide Intervalle etwa gleiche Werte.

Um die räumliche Variation bei Extrem- und Mittelwerten noch besser aufeinander beziehen zu können, wurden deren Differenzen zwischen Sommer- und Winter- sowie zwischen Herbst- und Frühlingswerten stationsweise notiert und in einer nach fallenden Jahresmitteln der Lufttemperatur geordneten Stationsfolge zur Darstellung gebracht (Abb. 32 und 33).

Um die schon im vorigen Abschnitt konstatierte Ähnlichkeit zwischen dem Freiland und den innerstädtischen Stationen hinsichtlich des Jahresganges der Temperaturmittel auch in diesem Zusammenhang zu demonstrieren, ist auch die "Hypothetische Freilandstation Berlin" (HFB) hier noch einmal mit dargestellt worden - ausnahmsweise nicht innerhalb der nach Jahresmitteltemperaturen bestimmten Folge, sondern ganz links, auf der Seite der Innenstadtsstationen.

Bei den Sommer-Winterdifferenzen fällt auf, daß sich Temperaturmittel und Temperaturminima der meisten Stationen identisch verhalten. Die Parallelität der beiden Profile ist nur bei den Stationen Bg und Sh nicht gegeben. Wie bei den Temperaturmittelwerten, nur noch stärker ausgeprägt, zeigt sich bei den Minima eine Zunahme des "ozeanischen" Charakters in Richtung auf die peripheren Stationen. Vergleichsweise hohe ("kontinentale") Sommer-Winter-Differenzen werden unter den letzteren nur bei den Stationen Pfaueninsel (Hp) und Heiligensee (Hb) angetroffen. Man beachte, daß diese zugleich in ihren Temperaturmaxima nur mittlere bis geringe Differenzen aufweisen. Ihre "Kontinentalität" beruht hier alleine auf den relativ hohen Temperaturminima des Sommers, die zugleich für die hier angetroffenen relativ niedrigen Werte der sommerlichen Temperatur-Tagesschwankung (Tab. 27) verantwortlich sind.

Temperaturdifferenzen Sommer - Winter

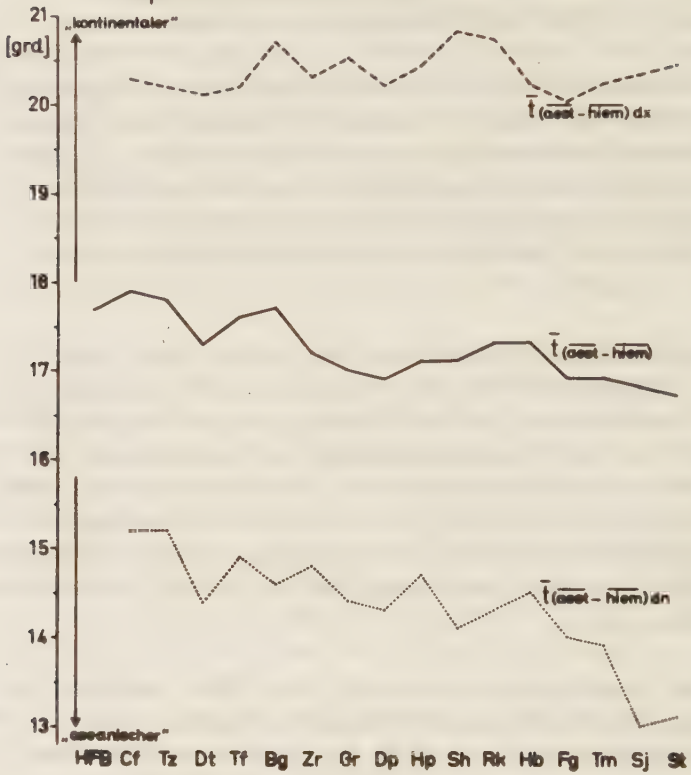


Abb. 32

Temperaturdifferenzen Herbst - Frühling

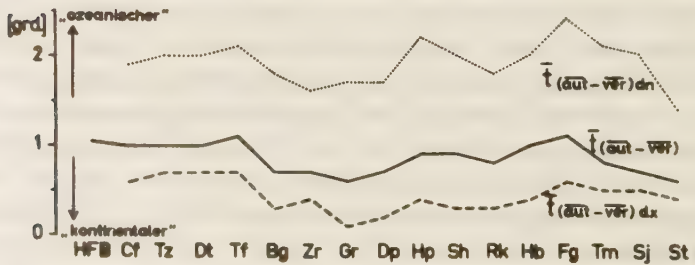


Abb. 33

Der Grund für ein solches Verhalten ist bei der Inselstation in der Wirkung der umgebenden Wasserflächen zu erblicken. Diese dämpfen zwar die Tagesschwankung der Temperatur, nicht jedoch oder nur geringfügig die Jahreschwankung (Sommer-Winter-Differenz) des Klimamittels, wie man aus der mittleren Kurve ersehen kann. Zweifellos würde sich diese Erscheinung noch deutlicher manifestieren, wäre die Klimahütte statt auf einer kleinen Lichtung im Inneren der zum großen Teil bewaldeten Insel auf einer der ufernahen Wiesen errichtet worden.

Die Heiligenseer Station verdankt ihre relative Sommer-Winter-Kontinentalität wohl weniger den ca. 1 km entfernten Wasserflächen im Westen als vielmehr dem Fehlen einer geschlossenen Vegetationsdecke, wodurch in sommerlichen Strahlungsnächten eine gute Wärmenachlieferung aus dem Boden erfolgen kann. Auf diese Weise wird ein extremes Absinken der Temperaturen verhindert.

Die Sommer-Winter-Differenzen der Maxima lassen einen den Minima vergleichbaren Trend zwischen Stadttinnerem und Stadtrand nicht erkennen, wenngleich durchaus Zusammenhänge zu konstatieren sind. So fallen hohe Differenzen bei den Maxima zumeist mit relativ niedrigen bei den Minima zusammen, ein Ergebnis hoher sommerlicher Tagesschwankungen, in Umkehrung des vorstehend für die Station Hp beschriebenen Vorganges.

Fragt man sich, in welcher Eigenschaft die Stationen mit den höchsten sommerlichen Maxima (Sh, Rk, Bg, Zr und Gr) übereinstimmen, so zeigt es sich, daß unter diesen fast ausschließlich solche der vegetationsmasseärmeren Lockersiedlungen zu finden sind. Höherer, wenngleich lockerer Baumbestand ist nur bei der Station Grunewald (Gr) anzutreffen, wobei wahrscheinlich von Bedeutung ist, daß sich die Hütte nicht, wie bei den peripheren Waldstationen, am Rande des Bestandes, sondern innerhalb desselben befindet. Das Auftreten der höchsten Maxima gerade in den Lockersiedlungsgebieten erklärt sich wahrschein-

lich daraus, daß hier einerseits die gut wärmeleitenden Baumassen stark zurücktreten, es aber andererseits auch nicht, wie an den Waldrand- und Waldlichtungsstationen, tagsüber zur Ausbildung eines lokalen Windsystems (Waldwind) kommt, wobei die kühlere Luft des Stammraumes in Richtung der stärker erwärmten Freiflächen ausströmt und deren weitere Erwärmung verzögert (KOCH 1942, WILMERS 1968).

Ungeachtet der Besonderheiten bei den Maxima gibt sich das Gefälle der "Sommer-Winter-Kontinentalität" vom Stadtkern zum Stadtrand als ein solches der sommerlichen Tagestiefstwerte zu erkennen. Dadurch gewinnt die o.a. Hypothese an Wahrscheinlichkeit, wonach die thermische "Stadtrandanomalie" vorwiegend als Ergebnis der windgeschützten Stationsorte verstanden werden muß. Die im vorigen Abschnitt erörterte thermische Charakteristik der Station Potsdam paßt sehr genau zu dieser Auffassung.

Die Herbst-Frühling -Differenzen der Temperatur, bei denen die meisten Stadtrandstationen Abweichungen in kontinentaler Richtung zeigen, sind im Gegensatz zu den Sommer-Winter-Differenzen kaum mit den Jahresmitteltemperaturen korreliert, was dem bewegten aber nicht insgesamt geneigten Kurvenbild von Abb. 33 unmittelbar entnommen werden kann. Die oben angenommene Ursachengleichheit für beide Komponenten der "Stadtrandanomalie" ist damit wenigstens partiell in Frage gestellt. Es bedarf wohl einer speziellen Untersuchung, um hier Klarheit zu schaffen. Einen Hinweis verdient noch die gegenüber den Sommer-Winter-Verhältnissen weit bessere Parallelität der räumlichen Verteilung von Maxima und Minima bei den Herbst-Frühlings-Differenzen.

Der Vergleich der Abbildungen 32 und 33 läßt ferner erkennen, daß, anders als bei den Sommer-Winter-Differenzen, nicht die Maxima, sondern die Minima die durchwegs höheren Beträge aufweisen. Das kann jedoch nicht verwundern, da die höhere Tagesschwankung hier zur kälteren

Jahreszeit (Frühling) angetroffen wird. Allgemein erlauben die Ergebnisse die Schlußfolgerung, daß sich, zumindest in unserem Gebiet, die Minima der Temperatur ozeanischer verhalten als die Maxima.

6.4.2.3 Zahl der Tage mit Über- bzw. Unterschreitung bestimmter Temperatur-Schwellenwerte

Die betr. Daten, soweit verfügbar, enthält Tab. 28. Relativ~~unbedeutend~~ sind die Unterschiede bei den Eistagen. Dagegen nimmt die Zahl der Tage, an denen die Temperatur in 2 m Höhe den Gefrierpunkt unterschreitet, vom Stadtrand zum Stadtinneren um mehr als ein Drittel ab: gegenüber der Station Sj im Forst Spandau verzeichnet das zentrale Westberlin einen Mehrbetrag von 50 frostfreien Tagen!

Auch hier ist darauf hinzuweisen, daß derartig hohe Differenzen stationslagebedingt sind, also keine echten Stadt-Freiland-Differenzen darstellen. Reduziert man die mittlere jährliche Zahl der Frosttage einiger Stationen der Berliner Umgebung (KLIMAATLAS der DDR, Karte II/16) an Hand der Station Dahlem auf den hier untersuchten Zeitraum, so erweist sich diese Auffassung als berechtigt. Mit etwa 100 Frosttagen halten hier Jüterbog (in 6.4.2.1 durch seinen abweichenden Jahresgang der Temperatur hervorgetreten), die Moorrandstation Krüssau sowie das bereits vom frühjahrskalten Ostseeklima beeinflusste Angermünde die Spitze. Die Werte der Berliner Waldrand- und Waldlichtungsstationen werden also, selbst in der weiteren Umgebung, von denen repräsentativer Netzstationen nicht erreicht. Etwa 90 Frosttage ergeben sich für Frankfurt/Oder und Kyritz, ca. 85 für Cottbus und Potsdam. Mit nur 80 Frosttagen erweist sich die 60 km westlich von Berlin-Mitte gelegene Station Brandenburg als nicht weniger begünstigt wie die Station auf dem Zentralflughafen Berlin-Tempelhof (Tz). Die innerhalb von Westberlin festgestellte Streubreite der Frosttage ist demnach reichlich doppelt so groß wie die von repräsentativen Klima-

Tabelle 28

Jährliche Zahl der Tage mit Über- bzw. Unterschreitung bestimmter Temperatur-Schwellenwerte¹⁾

Station	Eistage (Max. < 0,0°C)	Frosttage (Min. < 0,0°C)	Bodenfrost- tage (E-Min. < 0,0°C)	Sommer- tage (Max. $\geq$ 25,0°C)	Heiße Tage (Max. $\geq$ 30,0°C)
Cf	<u>24</u>	<u>72</u>	—	35	6
Tz	25	81	112	33	<u>5</u>
Tf	25	85	114	32	<u>5</u>
Bg	26	95	131	38	7
Zr	<u>24</u>	82	117	37	6
Dp ²⁾	25(25,4)	83(88,0)	<u>108</u>	33(34,0)	<u>5</u> (6,3)
Hp	28	83	123	34	6
Sh	<u>24</u>	91	136	<u>42</u>	<u>8</u>
Rk	<u>24</u>	90	117	39	6
Hb	26	90	—	33	<u>5</u>
Fg	28	104	124	<u>28</u>	<u>5</u>
Tm	27	104	150	34	<u>5</u>
Sj	<u>22</u>	<u>122</u>	<u>170</u>	34	6
St	27	115	165	34	6

1) 5-jähriges Mittel der Periode März 1963 bis Februar 1968

2) in Klammern: Normalwerte des Zeitraumes 1909-1970 (ohne 1945)

stationen im gesamten Gebiet zwischen Nördlichem und Südlichem Landrücken sowie Elbe und Oder erfaßte. Auf einen mittleren Freiland-Wert von 90 Tagen bezogen erweist sich nunmehr das Stadttinnere als weniger begünstigt (18 Frosttage weniger) denn die Waldlichtungsstation S_j benachteiligt (32 Frosttage mehr). Dabei ist an die bereits früher erwähnte nicht innenstadttypische Aufstellung der Station Charlottenburg zu erinnern. Man kann annehmen, daß inmitten dicht bebauter Teile der Innenstadt die Zahl der Frosttage noch stärker reduziert ist. Doch liegt hierüber kein Material vor.

Die ökologisch noch bedeutendere mittlere Dauer der zusammenhängenden frostfreien Zeit im Jahr (Zeitabstand zwischen letztem und erstem Frost) läßt sich aus dem veröffentlichten Datenmaterial nicht zuverlässig ermitteln. Hierfür müßten die täglichen Temperaturminima herangezogen werden, was aber im Rahmen dieser Arbeit einen zu großen Aufwand bedeutet hätte. Nur so viel kann hier gesagt werden, daß an den beiden Stationen im Forst Spandau (S_j und St) zu jedem Monat des Jahres mit Bodenfrost gerechnet werden kann. Selbst in der Klimahütte in 2 m Höhe wurde der Gefrierpunkt gelegentlich auch im Sommer unterschritten. Frei von Hüttenfrost blieb bisher allein der Monat Juli. Die Station im Tegeler Fließtal (T_m) steht hinsichtlich ihrer Frostgefährdung den beiden vorgenannten Stationen nur wenig nach.

Zieht man von den Frosttagen die Tage ab, an denen die Temperatur ständig unter dem Gefrierpunkt lag (Eistage), so erhält man die Zahl der Frostwechseltage, der ebenfalls ökologische Bedeutung zukommt. Sie schwankt im Untersuchungsgebiet zwischen 93 (S_j) und 48 (C_f). Von den repräsentativen Stationen der Umgebung zeigt dagegen Krüssau mit 75 Tagen den höchsten, Brandenburg mit 55 Tagen den niedrigsten Betrag (reduzierte Werte): wiederum eine bedeutend geringere Spanne als die vom Westberliner Stationsnetz ausgewiesene.

Eine noch stärkere räumliche Differenzierung als bei den Frosttagen läßt sich bei den Bodenfrostitagen konstatieren, wo die Tabelle zwischen den Stationen

Sj und Dp einen Unterschied von 62 Tagen (zwei Monate!) ausweist. Tatsächlich dürfte die Differenz noch größer sein, sofern für die Charlottenburger Station Werte verfügbar wären. Hier wurden jedoch leider keine Temperaturminima in Erdbodennähe ermittelt. Für den mesoklimatischen Vergleich eignen sich die Bodenfrostitage nur bedingt, weil hier örtlich begrenzte Störfaktoren einen größeren Einfluß erlangen können als bei den Frosttagen. Das zeigt sich u.a. in dem verhältnismäßig geringen Wert für die Station Dahlem.

Die Verteilung der Zahl der Sommertage im Untersuchungsgebiet entspricht im wesentlichen jener der Maxima und läßt wie diese keine eindeutige Beziehung zu Stadt-Freiland- oder Stadt-Wald-Gradienten erkennen. Bevorzugt erscheinen randliche Lockersiedlungsgebiete - nicht die Innenstadt. Der höchste Wert wird auch hier an der Station Spandau- Hakenfelde verzeichnet (42 Tage), der niedrigste in Frohnau (28 Tage).

Bei der recht ähnlichen räumlichen Verteilung der Heißen Tage liegt die Gesamtstreuung mit nur drei Tagen sehr niedrig. Das erklärt sich zwanglos aus dem Umstand, daß Temperaturen von mehr als 30°C weitaus seltener auftreten als solche über 25°C. Eine brauchbare räumliche Differenzierung ist für diesen Parameter nicht angebar.

7. Kombination klimatologischer und phänologischer
Informationen zur Gewinnung eines detaillierten
Einblicks in die Temperaturverhältnisse Westberlins

7.1. Vorbemerkung

Da das Netz der Westberliner Klimastationen für eine räumliche Darstellung von mesoklimatischer Differenzierung zu weitmaschig ist, liegt es nahe, die weitgehend temperaturabhängige Verteilung der phänologischen Daten zur Verdichtung heranzuziehen. Voraussetzung für ein derartiges Verfahren ist eine hinreichend gute Übereinstimmung der betr. thermischen und phänochronischen Verteilungsbilder, was korrelationsanalytisch geprüft werden kann. Das Vorliegen einer Korrelation stellt indessen nur eine qualitative Aussage dar. Zur Quantifizierung der betr. Beziehung ist es erforderlich, die phänochronischen Daten (hier: Blühentwicklung) auf den jeweiligen thermischen Parameter (hier: Meßdaten der Klimastationen) zu "eichen". Das Bestehen einer quantitativ faßbaren Beziehung zwischen zwei Parametern läßt sich als "Koinzidenz" bezeichnen (TÜXEN 1958, NIEMANN 1970). Der mathematischen Form nach handelt es sich dabei um Regressionen. Aus den Regressionskurven können Umrechnungstabellen gewonnen werden, mittels derer sich die phänologische Karte als Temperaturkarte interpretieren läßt.

Als phänologische Parameter sind außer den unmittelbar den Karten entnehmbaren Isochronen auch die in 5.3.5.2 abgeleiteten thermisch definierten Standortstufen einzusetzen. Es ist zu prüfen, ob dadurch die Beziehung zu den thermischen Stationswerten verbessert werden kann.

Die praktische Verwendbarkeit der phänochronisch-thermischen Beziehung ist allein durch das Vorliegen einer formalen Korrelation und ihres quantitativen Ausdrucks (Regression) noch nicht gewährleistet. Die stets vorhandene Unschärfe einer Datentransformation muß ihrer Größenordnung nach bekannt sein. Eine Prüfung kann an Hand

zweier Streuungsmaße vorgenommen werden. Zum einen weisen die konkreten Wertepaare eine mehr oder weniger starke Streuung um die Regressionskurve auf. Zum anderen streuen auch die Temperaturparameter des Jahres oder seiner Abschnitte von Jahr zu Jahr erheblich, was die allgemeine Gültigkeit einer so gewonnenen Temperaturkarte einschränken muß. Dieser letztere Streuungsbetrag läßt sich allerdings ganz wesentlich reduzieren, wenn man sich, wie bei den kartierten phänochronischen Daten, auch bei den Temperaturen mit Relativwerten begnügt. Wie der Vergleich der Abbildungen 25 und 26 zeigt, zeigen die Relativwerte gegenüber den Absolutwerten eine weit geringere Veränderlichkeit von Jahr zu Jahr. Doch kann auch bei den Relativwerten die zeitliche Streuung nicht gänzlich vernachlässigt werden.

Von Interesse ist schließlich noch der Grad thermischer Differenzierung, der sich im Untersuchungsgebiet erzielen läßt, also die Zahl der vertretbaren Temperaturstufen. Diese wird um so größer sein, je größer die phänochronisch bzw. die thermische Spanne im Gebiet und je geringer der phänochronisch-thermische Zuordnungsfehler ist.

Die Auswertung kann durch Ermittlung thermischer Richtwerte geschehen, bezogen einmal auf charakteristische Oberflächenstrukturen, zum anderen auf topographisch fixierbare Einheiten wie Stadtbezirke, Wohnviertel usw. Der Bezug auf Oberflächenstrukturen, d.h. die Typisierung an Hand bestimmter klimawirksamer Qualitäten des Untergrundes, ist dabei das Verfahren mit der allgemeineren Bedeutung und das gegebene für die klimatologische Auswertung kurzzeitiger Messungen (vgl. S. 21).

7.2 Ableitung der Temperaturverhältnisse aus der phänochronischen Verteilung

7.2.1 Korrelationen zwischen Blühdaten und Temperaturdaten

Von den untersuchten thermischen Parametern mußte einer - das mittlere tägliche Temperaturmaximum - von vornherein ausgeschieden werden, da hier ein Gefälle Stadtkern-Stadtrand, wie es bei den Blühdaten vorliegt, nicht angetroffen wird. Zur Bearbeitung gelangen daher nur tägliches Klimamittel, mittleres tägliches Minimum und Tagesschwankung der Temperatur.

Zunächst wurden für die Orte der 16 Klimastationen die phänochronischen Daten der Phasen 'b' und 'ab' den betr. Karten entnommen und mit den an diesen Stationen ermittelten Temperaturdaten korreliert. Die sich ergebenden Korrelationskoeffizienten zeigt Tabelle 29. Als Bezugszeitraum wurden einmal die Monate März bis Juni des Beobachtungsjahres (1967) verwendet (Tab. 30), zum anderen aber auch die 5-jährigen Durchschnittswerte jahreszeitlicher Temperaturdaten aus den Tabellen 23, 26 und 27.

Für die richtige Einschätzung des Korrelationskoeffizienten einer Stichprobe ist es erforderlich, den Vertrauensbereich zu bestimmen, innerhalb dessen der betr. Koeffizient der Grundgesamtheit erwartet werden kann. Aus Stichproben von jeweils $N = 15$ (bzw. 16) Datenpaaren kann für alle tabellierten Koeffizienten bei einer vorgegebenen Irrtumswahrscheinlichkeit von 1% die Nullhypothese verworfen werden (SACHS 1969, Tab. 113). Es besteht also eine echte formale Korrelation zwischen der Verteilung der phänochronischen und der der thermischen Daten.

Die Tagesschwankung der Temperatur weist die niedrigsten Koeffizienten unter den drei Parametern auf. Sie liegen z.T. in der Nähe der Zufallshöchstgrenze. Eine Weiterverwendung der Tagesschwankung im Rahmen der phänochronisch-

Tabelle 29

Korrelationskoeffizienten für die Transformation phänologischer Daten (Ritüphasen von *Tilia euchlora* - 1967) in Temperaturdaten

		Thermische Parameter			
		phänologischen Zeitstufen		korreliert mit:	
		phänologischen Standortstufen			
		t	t _{dn}	t(dx-dn)	t t _{dn}
ERSTE BLÜTEN (b)	März-Juni 1967	+0,97	+0,89	-0,77	
	5-jähriges Mittel	+0,96	+0,90	-0,81	
		+0,91	+0,90	-0,81	+0,91
		+0,88	+0,87	-0,81	+0,88
		+0,88	+0,90	-0,82	+0,87
					0,88
VOLLEBLÜTE (ab)	März-Juni 1967	+0,90	+0,83	-0,67	

t = Klimamittel

t_{dn} = mittleres tägliches Minimumt_{dx} = mittleres tägliches Maximum

der Lufttemperatur

thermischen Datentransformation ist somit nur bedingt möglich, zumal sich auch die zeitliche Datenstreuung bei diesem Parameter als besonders groß herausgestellt hat (s.u.).

Tabelle 30 Zusammenstellung thermischer Parameter der Westberliner Klimastationen für den Zeitraum März bis Juni (incl.) 1967

Station	Klimamittel	Mittleres tägliches Minimum	Mittlere Tages- schwankung
Cf	11,7	7,4	8,2
Tz	11,4	6,8	8,6
Dt	11,3	7,0	8,2
Tf	11,2	6,5	8,2
Bg	11,2	6,2	9,9
Zr	11,0	6,6	9,5
Gr	11,0	6,3	10,1
Dp	10,9	6,4	9,5
Hp	10,9	6,2	9,6
Sh	11,0	6,1	10,4
Rk	11,1	6,1	10,0
Hb	10,8	6,0	9,8
Fg	10,5	4,9	10,5
Tm	10,4	5,0	10,6
Sj	10,2	3,7	11,9
St	10,4	5,2	10,6

Bei dem der Blütezeit von *Tilia x euchlora* vorangegangenen Zeitraum ergaben sich höhere Korrelationskoeffizienten für die Phase 'b' gegenüber der Phase 'ab'. Zwar sind die Differenzen zwischen beiden in keinem Einzelfalle gesichert; da jedoch alle drei Parameter die gleiche Tendenz zeigen, erhöht sich die Wahrscheinlichkeit, daß all-

gemein die Temperaturdaten enger mit der Verteilung der Blühbeginn- als der Vollblütedaten in Beziehung stehen. Das kann auch nicht überraschen, da die den Blühablauf steuernden Faktoren mit den für die vorausgehende Entwicklung der Blütenknospen verantwortlichen Faktoren nicht ganz identisch sein dürften, zumindest in quantitativer Hinsicht (vgl. 5.3.5.2 und 5.4.3). Daher stützt sich die weitere Bearbeitung allein auf die Verteilung der Phase 'b' (Karte 1).

Aus Tab. 29 läßt sich weiterhin entnehmen, daß die 5-jährigen Mittelwerte der Temperaturparameter durchaus nicht schwächer mit den 1967er Blühdaten korreliert sind als die Temperaturmittel des dem Aufblühen unmittelbar vorausgegangenen 4-monatigen Zeitraumes (März bis Juni 1967). Wo doch die Koeffizienten etwas niedriger sind, ist die betr. Differenz nicht gesichert. Man darf daraus schließen, daß die 1967 in Westberlin angetroffene phänochronische Verteilung keinen Sonderfall darstellt, daß sie vielmehr für die gegenwärtige Phase der Stadtentwicklung repräsentativ ist.

Nicht mit der Erwartung übereinstimmend ist die aus Tabelle 29 entnehmbare Tatsache, daß eine Verwendung phänologischer Standortstufen anstelle von Zeitstufen nicht nur keine Verbesserung, sondern sogar eine geringfügige Verschlechterung der Korrelation mit den Temperaturdaten bewirkt. Wenngleich auch hier die Differenzen nicht gesichert sind, so war doch das Fehlen eines positiven Effektes maßgebend für den Entschluß, bei der beabsichtigten Transformation auf die unveränderten phänochronischen Daten zurückzugreifen. Daß die theoretisch zu erwartende Verzerrung durch die phänologische Divergenz (5.3.5.2) hier nicht nachgewiesen werden kann, dürfte u.a. auf die noch nicht ganz befriedigende Aufnahmemethodik zurückzuführen sein. Zum anderen begrenzt aber der Bezug auf nur 15 Klimastationen die Bestimmtheit der Korrelationskoeffizienten so stark, daß ein Nachweis der Divergenz auf diesem Wege garnicht erwartet werden kann.

7.2.2 Transformation der Blühdaten in Temperaturdaten

Formal ist die Transformation höchst einfach durchführbar. Für jede Jahreszeit lassen sich die 15 bzw. 16 verwendeten Stationen nach ihren jeweiligen über 5 Jahre gemittelten Temperaturdaten sowie ihrer Lage innerhalb der phänochronischen Verteilung (Karte 1) in ein entsprechendes zweidimensionales Koordinatensystem eintragen. Durch die so entstandene Punktwolke wird auf graphischem Wege die Regressionslinie gelegt. Deren richtige Lage ist erreicht, wenn die Stationspunkte die kleinstmögliche Temperaturstreuung (Standardabweichung) in Bezug auf diese Linie zeigen. Da die Punktwolken in keinem Falle deutlich in sich gekrümmt erschienen, kamen als Regressionslinien nur Geraden in Frage.

Nun leuchtet allerdings ein, daß bei Verwendung einer linearen Funktion die qualitativen Unterschiede der jahreszeitlichen Temperaturverteilungen (s. insbesondere Abb. 31) nicht dargestellt werden können. Die Analyse der Westberliner Klimadaten im Vergleich mit großklimatisch repräsentativen Daten aus der Berliner Umgebung hatte ergeben, daß die vorwiegend sommerliche Anomalie der Stadtrandstationen mit hoher Wahrscheinlichkeit auf deren mehr oder weniger windgeschützte Standorte zurückgeführt werden muß. Folgerichtig sollte man für jeden thermischen Parameter und jede Jahreszeit zwei verschiedene Regressionslinien bestimmen - eine für offene und eine für geschützte Standorte. Ein solches Vorgehen scheitert an der zu geringen Zahl verwendbarer Stationen und ihrer auch unter diesem standörtlichen Aspekt ungünstigen Verteilung im Stadtgebiet: Während in der Innenstadt keine stärker windgeschützten Stationen eingerichtet sind, fehlen im Stadtrandgebiet Stationen in offener Lage.

Statistisch abzusichern ist die Datentransformation auf der Grundlage einer linearen Regression somit nur bei summarischer Verwendung der Daten möglichst aller

hier bearbeiteten Stationen. Hinsichtlich der Folgerungen für die standörtliche Interpretation siehe unter 7.2.4 .

Ohne zunächst den wahrscheinlichen Fehler bei einer solchen Transformation zu berücksichtigen, stellt Tab. 31 die bestimmten phänochronischen Werten aus Karte 1 zuzuordnenden Temperaturdaten dar. Bei den Klimamitteln und den Temperaturminima sind dabei aus den unter 7.1 genannten Gründen *r e l a t i v e* Werte zur Eintragung gelangt.

Als Basis für die relativen Werte wurde jeweils *d i e* Temperatur gewählt, welche lt. Regressionsgerade dem phänologischen Bezugsstandort zukommt. Mit einiger Vorsicht lassen sich so die Relativtemperaturen zugleich als Temperaturdifferenzen gegen Freiland interpretieren. Für praktische Fragestellungen insbesondere prognostischer Natur mag es vorteilhafter sein, von den Temperaturen der Berliner meteorologischen Hauptstation auszugehen (Dp). Der jeweilige Relativwert für diese Station wurde daher in die Tabelle aufgenommen (unterste Datenreihe). Zieht man ihn von den auf "Freiland" bezogenen Relativwerten der Tabelle ab, so ergeben sich die gesuchten Relativwerte auf Dahlemer Basis. Bei den Basiswerten handelt es sich natürlich um die an der Station selbst festgestellten Mittelwerte, nicht aber um solche, die aus der Regressionskurve für den Ort der Station gefolgert wurden. Da nun gerade die Station Dahlem in dem betr. Diagramm recht weit von dem ihrer Temperatur entsprechenden Punkt auf der Regressionskurve abweicht, - die Station ist im Vergleich zu den ihr gemäß dieser zugeordneten phänochronischen Daten zu kalt - so ergeben sich auf Dahlemer Basis für den Stationsort selbst Relativwerte ungleich Null. Auf die Bedeutung solcher Unstimmigkeiten wird noch zurückzukommen sein (7.4.2).

Bei den Tagesschwankungen der Temperatur wurden nicht die hier wenig anschaulichen Relativwerte, sondern die

Bezug: fünfjährige thermische Mittelwerte der Westberliner Stationen

Phänochronische Differenz
Regen "Freiland"

Jahreszeit:	Relatives Klimamittel				Mittleres tägliches Minimum (relativ)				Mittlere Tagesschwankung (absolut)			
	F	S	H	W	F	S	H	W	F	S	H	W
+10	+1,9	+2,5	+2,2	+1,2	+3,6	+4,2	+3,3	+2,4	6,4	7,5	5,0	3,4
+9	+1,7	+2,2	+2,0	+1,1	+3,3	+3,8	+3,0	+2,1	6,8	7,9	5,3	3,6
+8	+1,5	+2,0	+1,8	+1,0	+2,9	+3,4	+2,6	+1,9	7,1	8,3	5,7	3,8
+7	+1,3	+1,7	+1,6	+0,9	+2,5	+3,0	+2,3	+1,6	7,4	8,7	6,0	4,0
+6	+1,1	+1,5	+1,3	+0,7	+2,2	+2,5	+2,0	+1,4	7,7	9,1	6,3	4,2
+5	+1,0	+1,2	+1,1	+0,6	+1,8	+2,1	+1,7	+1,2	8,0	9,5	6,6	4,3
+4	+0,8	+1,0	+0,9	+0,5	+1,5	+1,7	+1,3	+0,9	8,4	9,9	6,9	4,5
+3	+0,6	+0,7	+0,7	+0,4	+1,1	+1,3	+1,0	+0,7	8,7	10,3	7,2	4,7
+2	+0,4	+0,5	+0,4	+0,3	+0,7	+0,8	+0,7	+0,4	9,0	10,7	7,5	4,9
+1	+0,2	+0,2	+0,2	+0,1	+0,4	+0,4	+0,4	+0,2	9,3	11,1	7,9	5,1
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,6	11,5	8,2	5,3
-1	-0,1	-0,3	-0,2	-0,1	-0,3	-0,4	-0,3	-0,3	10,0	11,9	8,5	5,4
-2	-0,3	-0,5	-0,5	-0,2	-0,7	-0,9	-0,6	-0,5	10,3	12,3	8,8	5,6
-3	-0,5	-0,8	-0,7	-0,3	-1,1	-1,3	-0,9	-0,8	10,6	12,7	9,1	5,8
-4	-0,7	-1,0	-0,9	-0,5	-1,4	-1,7	-1,3	-1,0	10,9	13,1	9,4	6,0
-5	-0,9	-1,3	-1,1	-0,6	-1,8	-2,1	-1,6	-1,2	11,2	13,5	9,7	6,2

Phänochronisch-

thermisches

Äquivalent

(Grd/

10 Tage)

a₁₀

1,8

2,5

2,2

1,2

3,6

4,2

3,2

2,4

3,1

1,8

Thermi-

sche

Daheim

(Dp)

Meß-

werte

+0,4

+0,0

+0,2

+0,3

+0,8

+0,6

+0,5

+0,5

+0,5

7,5

4,8

Absolutwerte selbst tabelliert. Dadurch ergibt sich freilich eine größere zeitliche Veränderlichkeit für diesen Parameter, wenngleich eine immer noch bei weitem geringere als für die Absolutwerte der beiden anderen Temperaturgrößen.

Mittels der Tabelle läßt sich nun die Karte 1 als Temperaturkarte lesen, wobei man jedoch immer eingedenk bleiben muß, daß es sich um Jahreszeit-Mittelwerte handelt. Die abgelesene Verteilung muß zu keiner Zeit tatsächlich anzutreffen sein. Auch streuen die betr. Mittelwerte von Jahr zu Jahr um einen gewissen Betrag.

7.2.3 Fehlerstreuung beim Schluß von den Blühdaten auf die Temperaturverhältnisse

Für die Inanspruchnahme der phänochronischen Verteilung als Grundlage für detaillierte Temperaturkarten genügt es nicht, den jeweiligen Umrechnungsfaktor, also das phänochronisch-thermische Äquivalent zu kennen. Man benötigt zusätzliche Informationen darüber, mit welcher Unsicherheit die Transformation phänologischer in klimatologische Daten behaftet ist. Hierfür läßt sich die Standardabweichung der phänochronisch-thermischen Zuordnungspunkte (Klimastationen im Wertefeld der Karte 1) von der durch sie gegebenen Regressionsgeraden verwenden (f_1 in Tabelle 32).

Ein quantitatives Maß für die thermische Differenzierbarkeit stellt das Verhältnis von phänochronisch-thermischem Äquivalent (hier: $\text{grd}/10$ Tage) und dessen Streubereich (hier: das Doppelte der einfachen Standardabweichung f_1) dar. Diese Hilfsgröße ist in Tabelle 32 als d_{10} bezeichnet worden. Ein $d_{10} = 5$ bedeutet definitionsgemäß, daß auf einem Profil mit 10 Tagen Blühdifferenz fünf Temperaturstufen sinnvoll unterschieden werden können. Fast genau dieser Betrag ergibt sich z.B. für das

als Temperaturdaten (II)

(Einzelfehler und resultierende Fehler (grd), sowie Angaben zur thermischen Differenzierbarkeit des Untersuchungsgebietes)

Jahreszeit:	F	S	H	W	F	S	H	W	Mittlere Tagesschwankung (absolut)	F	S	H	W
Transformations- fehler: f_1	0,14	0,26	0,26	0,14	0,39	0,54	0,46	0,28	0,50	0,67	0,48	0,30	0,30
zeitliche Streuung: f_2	0,15	0,20	0,17	0,21	0,25	0,33	0,25	0,39	0,57	0,62	0,66	0,53	0,53
dto., örtl. Max. Wert: f_{2max}	0,23	0,33	0,30	0,40	0,37	0,59	0,42	0,83	0,75	1,00	0,87	0,78	0,78
resultieren- der Fehler: f_3	0,21	0,33	0,31	0,25	0,46	0,63	0,52	0,48	0,76	0,91	0,82	0,61	0,61
therm. Differen- zierbarkeit (Stufen): d_{10}	6,4	4,8	4,2	4,3	4,6	3,9	3,5	4,3	3,2	3,0	3,2	3,0	3,0
vertretbare Isothermen- dichte (grd): i	0,3	0,5	0,5	0,3	0,8	1,1	0,9	0,6	1,0	1,3	1,0	0,6	0,6

f_1 = Standardabweichung der phänochronisch-thermischen Zuordnungspunkte (Klimastationen, fünfjähri-
ge Mittelwerte) von ihrer jeweiligen Regressionsgeraden
 f_2 = Streuung (Standardabw.) 10-jähriger Datenreihen (1961-1970) der absoluten bzw. relativen
Temperaturgrößen von 6 Stationen bzw. 15 Stationspaaren

$$f_3 = \pm \sqrt{f_1^2 + f_2^2}$$

$$d_{10} = a_{10}/2f_1$$

$$i = a_{10}/d_{10}$$

sommerliche Klimamittel ($d_{10} = 4,8$). Bei einem Äquivalent $a_{10} = 2,5$ grd/10 Tage (Tabelle 31) folgt für die Karte ein vertretbarer Isothermenabstand von $1/2$ zu $1/2$ grd.

Die Betrachtung der d_{10} -Werte aus Tab. 32 läßt erkennen, daß die beste thermische Differenzierung des Untersuchungsgebietes mit den Temperaturmittelwerten zu erzielen ist. Hier sind je nach Jahreszeit zwischen 4 und 6 Temperaturstufen je 10 Tage Blühphasendifferenz darstellbar. Als für die Differenzierung am wenigsten geeignet erweist sich unter den drei thermischen Parametern die mittlere Tagesschwankung der Temperatur. Nur drei Stufen lassen sich mit dieser unterscheiden.

Die bisher berücksichtigten Fehler bezogen sich nur auf die Darstellbarkeit der in Tab. 31 wiedergegebenen mehrjährigen thermischen Mittelwerte. Mit diesen ist aber über die zeitliche Verteilung der realen Werte noch nichts ausgesagt. Letztere muß auf alle Fälle dann bekannt sein, wenn beabsichtigt ist, die Ergebnisse prognostisch auszuwerten, d.h. anzugeben, mit welcher Wahrscheinlichkeit die (relativen) Temperaturdaten in einem beliebigen Jahre als zwischen bestimmten Grenzen gelegen erwartet werden können.

Für die hierzu notwendige Untersuchung wurden 6 der Berliner Klimastationen ausgewählt und zwar solche, die bereits seit wenigstens 10 Jahren Daten liefern. Es handelt sich dabei um die beiden am meisten stadtypischen Stationen (Cf und Tz), des weiteren um je eine stadtkernnähere (Dp) und eine mehr periphere Station (Rk) der Einzelhaussiedlungsgebiete, ferner um zwei periphere Stationen in Waldrand- und Waldlichtungslage (Tm und Sj).

Bei der Tagesschwankung der Temperatur beschränkte sich die Bearbeitung auf die Ermittlung der Standardabweichung der 10-jährigen Datenreihe (1961-1970) für jede der 6 Stationen. Bei den Klimamitteln und den Temperaturminima war es wegen des starken jahreszeitlichen Ganges der-

selben erforderlich, die 10-jährigen Reihen von Stations - D i f f e r e n z e n zu analysieren, wobei jede der 6 Stationen mit jeder in Beziehung gesetzt wurde (insgesamt 15 Paare). Die in Tab. 32 unter f_2 notierten Streuungsbeträge stellen die Mittelwerte aus den jeweils 6 bzw. 15 Standardabweichungen der betr. 10-jährigen Reihen dar. Daß die zeitliche Streuung auch räumlich differiert, kann man den Angaben zu f_{2max} entnehmen (Daten derjenigen Station bzw. desjenigen Stationspaares mit dem höchsten Streuungsbetrag).

Für den Schluß von der phänochronischen auf die thermische Verteilung in einem bestimmten Jahr sind beide Fehler, der früher besprochene der Transformation (f_1) und der hier zuletzt behandelte der zeitlichen Variation (f_2) von Belang. Der gleichfalls tabellierte resultierende Fehler errechnet sich entsprechend dem Fehlerfortpflanzungsgesetz:

$$f_3 = \pm \sqrt{f_1^2 + f_2^2}.$$

Gefragt sei beispielsweise, innerhalb welcher Grenzen die in Tab. 31 für das Temperaturmittel eines bestimmten Sommers angegebenen Werte mit einer Wahrscheinlichkeit von 68,3% (einfache Standardabweichung) bzw. 95,5% (doppelte Standardabweichung) zu erwarten sind. Nach Tab. 32 beträgt der zugehörige resultierende Fehler $f_3 = \pm 0,33$ grd. Für einen Ort, dem in Karte 1 eine Blühverfrühung von 6 Tagen zukommt, läßt sich aus Tab. 31 eine durchschnittliche Übertemperatur von 1,5 grd entnehmen. Die wahre Relativtemperatur liegt also mit knapp 70% Wahrscheinlichkeit zwischen den Grenzen +1,2 und +1,8 grd ($1,5 \pm 0,3$ grd). Mit einer Unsicherheit von nur etwa 0,5% behaftet liegt die wahre Relativtemperatur zwischen +0,8 und +2,2 grd ($1,5 \pm 0,7$ grd).

7.2.4 Kritik der phänochronisch-thermischen Beziehung

An erster Stelle ist hier die recht hohe Unsicherheit der auf diesem Wege erhaltenen Temperaturen zu nennen. Das vorstehend angeführte Beispiel der Sommertemperaturen ergab eine Streubreite für das einzelne konkrete Jahr, die je nach der zugelassenen Irrtumswahrscheinlichkeit (ein Drittel oder 0,5%) ein Fünftel oder die Hälfte der ganzen im Untersuchungsgebiet festgestellten Temperaturspanne (Tab. 31) umfaßt.

Die 5-jährigen Mittelwerte der jeweiligen thermischen Parameter sind etwas besser gesichert als die Einzeljahreswerte. Der Fehler der zeitlichen Variation (f_2 in Tab. 32) wird beim Schluß auf das 5-jährige Temperaturmittel um etwa die Hälfte verringert. In geringerem Maße wirkt sich dies auch auf den resultierenden Fehler (f_3) aus. Merklich reduziert erweist er sich vor allem dort, wo f_2 den Transformationsfehler f_1 im Betrag übertrifft. Eine befriedigende Sicherung scheint aber auch für die mehrjährigen Temperaturmittel nicht gegeben zu sein.

Für das in den Karten insgesamt wiedergegebene Verteilungsbild ist der Fehler f_2 weniger bedeutend als für die ortsbezogenen Temperaturaussagen innerhalb desselben, da die jährweise Variation der lokalen Daten nicht als eine Reihe voneinander unabhängiger Häufigkeitsverteilungen angesehen werden kann.

Einer der Gründe für die relativ hohen Abweichungen einzelner phänochronisch-thermischer Datenpaare von der Regressionsgeraden - daher mitverantwortlich für die hohen Transformationsfehler - ist darin zu sehen, daß bei den Temperaturwerten mikroklimatische Besonderheiten der Stationsorte zum Tragen kommen, die in einer mesoklimatischen Temperaturkarte möglichst unterdrückt werden sollten. Als Beispiel sei die in allen Jahren glei-

che Abweichungstendenz der Klimastationen Buckow (Bg) und Dahlem (Dp) genannt. Die letztere Station zeigt eine rund dreitägige Blühverfrühung gegen "Freiland". Hieraus würde, der Regressionsgeraden zufolge, auf eine sommerliche Übertemperatur (Klimamittel) gegen den Bezugspunkt von 0,7 grd zu schließen sein. Die tatsächlich festgestellte Übertemperatur beträgt jedoch 0,0 grd (Tab. 31). Eine so hohe Abweichung muß sich in dem auf den Quadraten der Einzelfehler beruhenden Streuungsbetrag besonders stark durchsetzen. GEB (1970) hat auf die sommerliche Temperaturanomalie der Station hingewiesen. An solchen Fällen zeigt sich, daß die thermische Relevanz einer phänochronischen Verteilung nicht generell an der Übereinstimmung mit den Daten einzelner Klimastationen gemessen werden kann. Wo diese Stationen in ihrer Repräsentativität unklar sind - und das muß leider auch für die Berliner Hauptstation festgestellt werden - da sind solche Abweichungen auch bei bestbegründeter Datentransformation unvermeidlich. Hier kann man geradezu sagen, daß die aus den Blühdaten abgeleiteten Temperaturwerte die betr. Verhältnisse am Stationsort verlässlicher wiedergeben, als die aus der Klimahütte stammenden Meßwerte selbst!

Insgesamt ist für die vorliegende phänochronisch-thermische Beziehung zu vermuten, daß der tabellierte Transformationsfehler die Unsicherheit der mesoklimatischen Temperaturbestimmung bedeutend übertreibt. In der Tat erweist sich der errechnete Streuungsbetrag bei Fortlassung der ein bis zwei stärkstabweichenden Stationen als um etwa ein Drittel, bei den Minima sogar um die Hälfte reduziert! Für den Schluß auf die 5-jährigen Temperaturmittel ergeben sich naturgemäß noch weitaus geringere resultierende Fehlerbeträge als die auf das Einzeljahr bezogenen der Tabelle 32.

Aussagen, die mehrjährige thermische Relativwerte betreffen, sind an Hand der phänochronischen Verteilung offenbar zulässig. Unter bestimmten Umständen könnte

es sogar gelingen, den Schluß auf die Verhältnisse eines Einzeljahres innerhalb vertretbarer Fehlergrenzen zu halten, d.h. auch eine prognostische Auswertung der phänochronischen Verteilung ins Auge zu fassen. So würde der Fehler der zeitlichen Variation bei Berücksichtigung von Witterungsvorhersagen hoher Eintrittswahrscheinlichkeit für den betr. Zeitraum wesentlich niedriger angesetzt werden können. Es sei an die in den letzten Jahren von BAUR veröffentlichten monatlichen und jahreszeitlichen Prognosen erinnert (z.B. in Beilagen zur Berliner Wetterkarte, u.a. SO 32/72 und SO 34/72). Insoweit eine solche Vorhersage eine überzufällige Trefferfrequenz aufweist, wird der Bezug auf die erwartete anstatt auf die mittlere Witterung das Ergebnis der Transformation grundsätzlich verbessern.

Ein entscheidender Punkt für eine kritische Beurteilung der hier abgeleiteten phänochronisch-thermischen Beziehung dürfte im Charakter der Stationen zu sehen sein, aus deren Daten die betr. Regressionskurven hervorgegangen sind. Hält man sich Abb. 31 vor Augen, so wird klar, daß die aus einer einzigen phänochronischen Verteilung gewonnenen Temperaturdaten der Tatsache nicht gerecht werden, daß die Temperaturverteilungen im Gebiet jahreszeitliche Unterschiede aufweisen und zwar nicht nur was die Gesamtspanne, sondern auch was deren Aufteilung zwischen der Innenstadt und den kalten Senken der Peripherie betrifft. Nach 7.2.2 gelten die so gewonnenen Temperaturdaten streng genommen nur für relativ windgeschützte periphere und für relativ offene innerstädtische Standorte. Bezüglich eingeengt stehender innerstädtischer Standorte fehlt bisher jeder Anhaltspunkt für eine entsprechend differenzierende Einschätzung. Dagegen läßt sich bereits die Aussage vertreten, daß offene periphere Standorte bei summarischer Transformation (Tab. 31) im Sommer um etwa 2 bis 5 Zehntelgrade zu kalt, im Winter um 3 bis 4 Zehntelgrade zu warm eingestuft werden. Die relative Skala läßt das freilich bei freilandähnlichen Lagen nicht darstellen, da dem

Bezugspunkt der phänochronische Wert Null zugeordnet ist. Entsprechend erscheinen stattdessen die Temperaturen der zentrumsnäheren Stadtteile im Sommer zu hoch, im Winter dagegen zu niedrig. Zu beachten ist, daß die hierin angedeutete, für offene Standorte möglicherweise besser zutreffende Beziehung nur innerhalb einer kleinen phänochronischen Spanne gilt - etwa zwischen 0 (-1) und +5 (+6) Tagen - da sehr frühe wie auch sehr späte Blühdaten an freigelegenen Stellen des Stadtgebietes nicht festgestellt werden konnten.

Man gelangt zu den betr. Korrekturen, wenn man den Bezugspunkt der phänochronischen Kartierung (offenes Gelände!) als angenähert freilandtypisch einstuft und das dort vorgefundene Blühdatum den Klimadaten der HFB (s. 6.4.2.1) zuordnet (wegen des gelegentlich doch vorhandenen Stadteinflusses an diesem Ort wohl auch besser ein um einen Tag späteres Datum). Die Regressionsgerade geht hierbei, durch den phänochronisch zu 0 bzw -1 Tagen eingestuften Stationspunkt für die HFB und berücksichtigt darüberhinaus lediglich die beiden innerstädtischen Stationen Cf und Tz, derart, daß sie zu beiden etwa den gleichen Abstand auf der Temperaturachse einnimmt. Bei nur drei Wertepaaren (die HFB freilich jeweils die Temperaturdaten von fünf Stationen enthaltend) kann über die statistische Zuverlässigkeit dieser standörtlich bestimmten Zuordnung keine Aussage getroffen werden. Um die betr. Verhältnisse sicher nachweisen zu können, wäre es notwendig, das Netz der Westberliner Klimastationen für kürzere Zeit (mindestens ein Jahr) erheblich zu verdichten. Es müßte sich hierbei nicht durchwegs um feste Stationen handeln. Ein Teil der Stationen könnte in rotierender Folge eine größere Anzahl von Standorten bestreichen.

Hinzuweisen ist hier noch einmal auf den Umstand, daß die wärmste Westberliner Klimastation (Cf) keinesfalls typisch innerstädtische Temperaturverhältnisse erfaßt. In der phänochronischen Verteilung kommt ihr ein Wert

von 5 Tagen Blühverfrühung zu, wohingegen im Stadttinnen bis zu 10 Tagen erreicht werden. Über mehr als ein Drittel der Gesamtspanne im Gebiet stellt also die Regressionskurve eine Extrapolation dar. Neben den o.a. Fehlerquellen weisen somit die für den wärmsten Bereich ermittelten Temperaturdaten diese nicht unerhebliche Bestimmungsunsicherheit zusätzlich auf. Dies führt noch einmal eine empfindliche Lücke im Netz der Westberliner Klimastationen vor Augen: das Fehlen innenstadttypisch aufgestellter Hütten.

7.3 Ableitung detaillierter Aussagen zur Temperaturverteilung in Westberlin aus der phänochronisch-thermischen Beziehung

7.3.1 Anwendung der phänochronisch-thermischen Beziehung auf charakteristische Stadtgeländetypen Westberlins

Für eine Flachlandstadt wie Berlin lassen sich relativ leicht Stadtgeländetypen ausgliedern, da diese hier nahezu allein durch Bebauung und Bewuchs bestimmt sind. Die Geländeformung zeitigt nur in den Stadtrandgebieten erkennbare thermische Auswirkungen - in stärkerem Maße erst im siedlungsfreien, teilweise auch im dünn besiedelten Gelände. Da dort wiederum der thermische Effekt der Bebauung stark zurücktritt bzw. fehlt, ist auch im peripheren Gebiet eine Überschneidung der Kriterien für die Typisierung selten.

Es wurden insgesamt 11 Stadtgeländetypen unterschieden (Tab. 33). Nur die Typen 10 und 11 leiten sich von Gegebenheiten der natürlichen Geländeformung her.

Nicht alle städtischen Oberflächen spezifischer Eigenart konnten hier Berücksichtigung finden. Teilweise sind im Rahmen der Erläuterungen weitere Strukturen den jeweils thermisch vergleichbaren Typen zugeordnet worden.

Tabelle 33 Stadtgeländetypen für die thermische
Differenzierung Westberlins

Kenn- ziffer	Kurz- bezeichnung	Erläuterungen
1	Freiflächen	Äcker, Wiesen, Kleingärten, Ödland; Parks u. Friedhöfe soweit Gehölz- schirm fehlend od. sehr locker
2	Wald	Forsten; Parks u. Friedhöfe mit waldähnlichem Bewuchs
3	Waldsiedlung (BMZ 1 bis 2)	lockere Einzelhaussiedl. mit grö- ßeren Waldresten od. entsprechen- dem Bewuchs
4	offene Siedlung (BMZ 1 bis 2)	lockere Einzelhaussiedl. ohne waldartigen Bewuchs
5	halboff. Sied- lung, ² Et (BMZ 2 bis 3)	2-stöckige Zeilen- u. Randbebauung; Industriegelände m. höherem Freiflä- chenanteil od. m. Flächen offener Siedl. verzahnt; Villenviertel hö- herer Bebauungsdichte
6	halboff. Siedl. ³ Et (BMZ 3 bis 4,5)	3- bis mehrstöck. Zeilen- u. Rand- bebauung; Industriegelände höherer Bebauungsdichte; innerstädt. Flächen m. größ. Baulücken (Kriegszerstör.)
7	geschlossene Siedl. ³ Et (BMZ 3 bis 4,5)	verdichtete Siedlungskerne der Pe- ripherie
8	geschlossene Siedl. ⁴ Et (BMZ 4,5-5,5)	vorwiegend 4-stöckige dichte Wohn- bebauung etc. außerhalb des Ber- liner S-Bahnringes
9	geschlossene Siedl. ^{≥5} Et (BMZ 5,5)	5- bis mehrstöckige Bebauung der inneren Wohngebiete u. der City
10	See-Randzone	Uferstreifen der größeren Seen (Havel, Tegeler See), soweit nicht oder offen besiedelt; randliche Erhebungen bis einschl. der Kuppen
11	kalte Senken	Rinnen u. Mulden, insbes. inner- halb u. am Rande v. Waldflächen; Waldlichtungen teilweise

BMZ = Baumassenzahl

Tabelle 34

Richtwerte der Temperatur (Jahreswerte) für
11 Stadtgeländetypen¹⁾ Westberlins sowie
Vergleichsdaten

<u>Stationswerte, 5-jährige Mittel²⁾</u>	Klimamittel		tägl.
	$\bar{t}_a$	$\bar{t}_{adn}$	Minimum
Berlin-Dahlem (58 m)	8,6 (8,4)	4,7(4,4)	
Potsdam, Hauptobservatorium (81m)	8,4 (8,3)	- (4,4)	
"HFB" ³⁾ (ca. 65 m)	8,6	-	
Oberrotweil, Kaiserstuhl (217m)	9,7 (9,7)	5,4(5,5)	

5-jährige Mittelwerte nach phänochroni-
schen Daten

- "Freiland"/Gatow	8,4	4,0	
1 Freiflächen	8,1 - 9,2	3,4 - 5,8	
2 Wald	7,8 - 8,5	2,9 - 4,4	
3 Waldsiedlung	8,0 - 8,9	3,1 - 5,3	
4 offene Siedlung	8,2 - 9,1	3,7 - 5,7	
5 halboffene Siedlung/ ² E _t	8,6 - 9,3	4,5 - 6,0	
6 halboffene Siedlung/ ³ E _t	8,8 - 9,5	5,0 - 6,4	
7 geschlossene Siedlung/ ³ E _t	9,0 - 9,6	5,4 - 6,7	
8 Grenzbereich der geschlossenen Siedlung ≥ 4E _t	9,2 - 9,4	5,9 - 6,3	
9 geschlossene Siedlung/ ⁴ E _t	9,2 - 9,7	5,7 - 7,0	
10 geschlossene Siedlung/ ⁵ E _t	9,3 - 9,9	6,1 - 7,3	
11 See-Randzone	8,3 - 8,7	4,0 - 4,7	
11 Kalte Senken	7,6 - 8,3	2,4 - 3,9	

1) siehe Tabelle 33

2) Periode Frühjahr 1963bis Winter 1967; in (): Normalwerte
der Periode (1881 - 1930)

3) "Hypothetische Freilandstation Berlin", s.S.293 ff

In interessierenden, hier nicht aufgeführten Fällen ist sinngemäß zu verfahren. So können weitständig gebaute moderne Wohnblocksiedlungen mit eingestreuten Hochhäusern, in Berlin etwa durch die Großsiedlungen Britz-Buckow-Rudow ("Gropiusstadt"), Märkisches Viertel und Falkenhagener Feld repräsentiert, nach Baumassenzahl und Temperatureffekt große Unterschiede aufweisen. Leider existieren bislang kaum thermische und phänochronische Belege für solche Gebiete. In der Mehrzahl der Fälle dürften sie wohl den Typen 8 bzw. 9 zuzuordnen sein.

Eine grobe Übersicht über die mittleren Temperaturverhältnisse der aufgeführten Stadtgeländetypen auf Grund ihrer Lage innerhalb der phänochronischen Verteilung (Karte 1) gewährt Tab. 34. Die Intervalle stellen den Streuungsbereich dar, innerhalb dessen rd. 95% der dem jeweiligen Typ zugeordneten phänochronischen Daten angetroffen werden ($\pm$ doppelte Standardabweichung). Für die Streuungsanalyse wurde ein Flächenraster von $2,4 \times 3,2$ km Seitenlänge verwendet, wovon 63 Einheiten innerhalb des Untersuchungsgebietes liegen. Jede Flächeneinheit geht nur mit einfachem Gewicht in die Analyse ein, ganz gleich, wie stark der betreffende Geländetyp in ihr vertreten ist. Umschließt ein Geländetyp innerhalb einer Flächeneinheit mehrere phänochronische Klassen, so muß eine Aufteilung vorgenommen, den betr. Klassen also das halbe, drittel usw. Gewicht zugeteilt werden. Flächen, in denen ein Geländetyp nicht vorkommt, blieben für die entsprechende Streuungsberechnung unberücksichtigt. In den so gewonnenen Streuungsdaten ist natürlich der Fehler beim Schluß von den phänochronischen auf die thermischen Daten noch nicht enthalten.

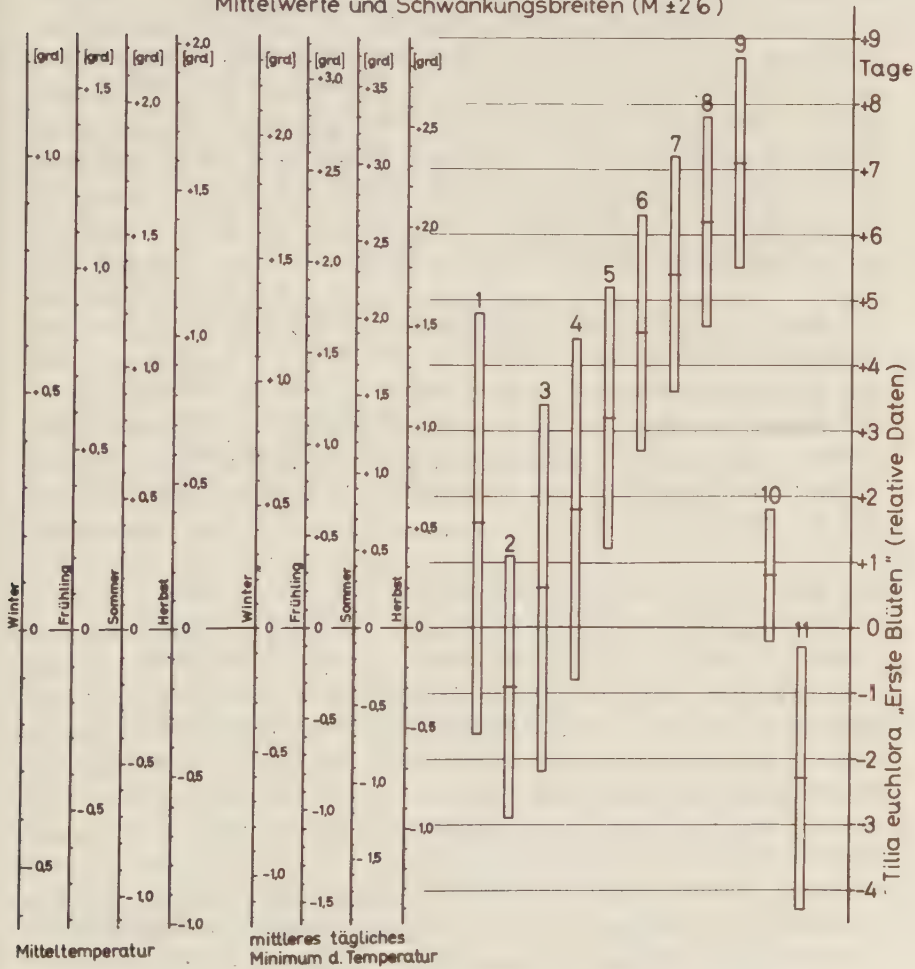
Neben den Geländetypen wurden zusätzlich der phänochronische Bezugspunkt ("Freiland"/Gatow) sowie der Grenzbereich der geschlossenen 4- und mehrstöckigen Bebauung thermisch charakterisiert. Da Ostberlin nicht in die Untersuchung einbezogen war, handelt es sich bei dieser

Grenze überwiegend um den luvseitigen Abschluß der betr. Geländetypen. Für die leeseitige Begrenzung sind etwas höhere Werte zu vermuten. An Vergleichsdaten wurden entsprechende Angaben für die Stationen Berlin-Dahlem, Potsdam bei Berlin, die "Hypothetische Freilandstation Berlin" (HFB) sowie für Oberrotweil beigelegt. Letztere Station, im Süden des Oberrheintalgrabens gelegen, repräsentiert die Verhältnisse im wärmsten Landesteil von Deutschland. Wie man der Tabelle entnehmen kann, werden in der Westberliner Innenstadt durchaus vergleichbare Wärmegrade erreicht. Freilich ist der Höhenunterschied zwischen beiden Orten zu beachten, welcher einem Temperaturvorteil Berlins gegenüber Oberrotweil von 0,7 grd gleichkommt.

Eine nach Jahreszeiten differenzierte Entnahme relativer thermischer Richtwerte für die in Tab. 33 aufgeführten Stadtgeländetypen ermöglicht Abb. 34. Dem phänologischen Bezugspunkt wurde die Temperatur 0 grd (relativ) zugeordnet. Eine Umformung in Relativwerte bezogen auf Berlin-Dahlem ist an Hand von Tab. 31 gleichfalls möglich. Rechts in Abb. 34 sind die phänochronischen Daten angegeben. Arithmetische Mittelwerte (Balkenmitten) und Streubreiten (Balkenlängen) sind unmittelbar aus diesen hergeleitet. Die links gelegenen acht Datenleisten ermöglichen sodann die relative thermische Beurteilung der phänochronisch begrenzten Typen. Dabei sind die im vorigen Abschnitt diskutierten methodischen und zufälligen Fehler zu berücksichtigen. Besonders gilt dies für den Geländetyp 1 (Freiflächen). Der betr. Diagrammbalken gibt hiernach in Bezug auf die thermischen Skalen nur die Verhältnisse während der Übergangsjahreszeiten hinreichend zuverlässig wieder. Dagegen ist seine obere Temperaturbegrenzung für die extremen Jahreszeiten zu korrigieren. Im Winter wie im Sommer dürfte diese Grenze bei knapp 1,0 grd (relativ) gelegen sein (Mitteltemperatur), was im Diagramm einer Balkenverlängerung (Winter) bzw. -verkürzung (Sommer) entspräche, verbunden mit einer etwa halb so großen Verschiebung der Balkenmitten nach oben bzw. unten.

Abb. 34

Jahreszeitliche Richtwerte der relativen Temperatur für 11 Stadtgeländetypen Westberlins Mittelwerte und Schwankungsbreiten ($M \pm 2\sigma$)



Auf die gesonderte Darstellung dieser Gegebenheiten in Abb. 34 wurde verzichtet, weil erstens die unmittelbare Beziehung zwischen Diagrammbalken und phänochronischer Skala dadurch gestört werden würde und weil zweitens die betr. Aussagen auf einem niedrigeren Niveau der statistischen Absicherung stehen. Auch für die Typen 7 bis 9 könnten Korrekturen erforderlich sein; doch ist für den Bereich dichter innerstädtischer Bebauung noch nichts über die möglichen Beträge und das Vorzeichen solcher Korrekturen bekannt. Für die übrigen Typen dürfte die Übertragung der Mittelwerte und Streubereiche in thermische Daten und Bereiche zu allen Jahreszeiten ohne nennenswerte systematische Fehler möglich sein.

Die Bezifferung der Stadtgeländetypen entspricht der in Tab. 33 vorgenommenen. Als wesentliches Kriterium für die Zuordnung eines Wertes zu einem der 11 Typen wurden 250 m Mindestabstand der betr. Beobachtungsstelle von Flächen irgend eines anderen Typs gefordert. Dadurch fallen alle kleinflächigen Vorkommen (Durchmesser $\leq 500\text{m}$) aus der Bearbeitung heraus.

Die Streuung der Temperaturdaten innerhalb eines Geländetyps ist nicht nur ein Maß für die Sicherheit der auf diesen bezogenen thermischen Aussagen; sie interessiert darüberhinaus auch als Maß für die Eigen- bzw. Fremdbürtigkeit des den Typ kennzeichnenden Temperaturklimas. Streuen die phänochronischen und damit die thermischen Daten innerhalb eines Typs sehr stark, so kann dies bedeuten, daß die betr. Geländeeigenschaften das dort anzutreffende Klima nur relativ wenig zu beeinflussen vermögen. Niedrige Beträge der Streuung lassen sich demgegenüber als Ausdruck von stark klimawirksamen Geländeeigenschaften interpretieren. Daneben hängt die Streuung freilich auch davon ab, wie ein Geländetyp definiert ist. Sind sehr heterogene Strukturen in ihm zusammengefaßt worden, so ist ein relativ hoher Streuungsbetrag zu erwarten. Die sehr gleichmäßige Abfolge insbesondere der Typen 2 bis 9 in Abb. 34 hinsichtlich ihrer middle-

ren Temperaturdaten kann als Indiz dafür gelten, daß in der vorliegenden Untersuchung etwa gleichwertige Kategorien abgegrenzt worden sind.

Auch die charakteristische Verteilung eines Stadtgeländetyps im allgemeinen Temperaturfeld der Stadt geht in die Streuungsdaten ein, was bei deren Interpretation als Ausdruck von Fremd- bzw. Eigenbürtigkeit des Geländeklimas zu berücksichtigen ist. Der Wald, in seiner überwiegenden Beschränkung auf periphere Lagen, wie auch das Gebiet geschlossener Bebauung, mit Schwerpunkt im innerstädtischen Bereich, können hinsichtlich ihrer sicherlich ziemlich autochthonen Klimazüge nicht ohne weiteres mit Typen wie den Freiflächen oder den Siedlungen mit halboffener Bebauung verglichen werden, welche letzteren sich weitaus gleichmäßiger über die Stadtfläche verteilen.

Daß Waldstandorte und Standorte im dicht bebauten Stadtgebiet die geringste Streuung aufweisen entspricht nach dem hier Gesagten der Erwartung. Die Behinderung des Luftaustausches in solchen Gebieten muß dabei als wesentlichbeteiligter Faktor angesehen werden. Andersartige Luftkörper vermögen sich, selbst bei stärkerer Advektion, nur mit einer gewissen zeitlichen Verzögerung und unter partieller Angleichung durchzusetzen. Besser als von eigenbürtigem ließe sich in solchen Fällen wohl von "konservativem" Klima sprechen. Weniger plausibel erscheint der hohe Streuungsbetrag für die Waldsiedlungen (Typ 3). Für das Ergebnis ist aber wohl vor allem die ungleichmäßige Verteilung dieses Typs innerhalb Westberlins verantwortlich zu machen. Im wesentlichen handelt es sich um Daten zweier Stadtteile: der stadtkernnahen Villensiedlung ~~Grünwald~~ und der peripher gelegenen und als extremes Spätgebiet ausgewiesenen Waldsiedlung Frohnau. Bei den offenen Siedlungen und insbesondere den Freiflächen kann die starke Streuung wohl als weitgehend natürlich und auf den dort herrschenden günstigen Austauschbedingungen beruhend gelten. Im Uferbereich der Havelseen und des Te-

geler Sees ist die dominierende Wirkung der Wassermassen unverkennbar. Die Datenstreuung besitzt hier den absolut niedrigsten Wert. Die kalten Senken entsprechen hinsichtlich ihrer Datenstreuung dem Waldgelände, innerhalb dessen oder an dessen Rande sie ja durchwegs gelegen sind. Insofern müssen die in den Senken angetroffenen Verhältnisse, trotz nur mittelhohen Streuungsbetrages, als im wesentlichen allochthon geprägt verstanden werden.

Die schon erwähnten Schwierigkeiten hinsichtlich der Zuordnung unterschiedlicher Strukturen zu den hier differenzierten 11 Typen des Stadtgeländes ließ eine Kartierung derselben als problematisch erscheinen. Um dennoch eine Vorstellung von ihrer Verteilung im Untersuchungsgebiet vermitteln zu können, wurden entlang von 9 Profilen, deren Lage aus Abb. 35 hervorgeht, die angetroffenen Typen maßstäblich abgetragen. In der Darstellung (Abb. 36) ist durchwegs links der Stadtrand, rechts das Stadttinnere wiedergegeben. Zu jedem Profil sind thermische und phänochronische Angaben aus den betr. Kurven zu entnehmen. Dabei wurden den phänochronischen Daten als Ausdruck der durchschnittlichen Temperaturverhältnisse die Temperaturen in sommerlichen Strahlungsnächten gegenübergestellt (nach Karte 5). Es wurde versucht, die Maßstäbe beider Parameter (Ordinate) so aufeinander abzustimmen, daß sich thermische und phänochronische Werte in ihren Schwankungsbereichen etwa entsprechen. Das Ergebnis mußte insofern unbefriedigend bleiben, als durch die Meßfahrten große Teile der Peripherie nicht mit erfaßt worden sind.

Da die hier erkennbaren Verteilungsmerkmale schon bei der Diskussion der als Grundlage dienenden Karten in ihren wesentlichen Zügen zur Sprache gekommen sind, kann die Interpretation der Profildarstellung knapp ausfallen.

Besonders charakteristisch zeigen die Profile C, E und F den Unterschied von Mittelwert- und Extremwertvertei-

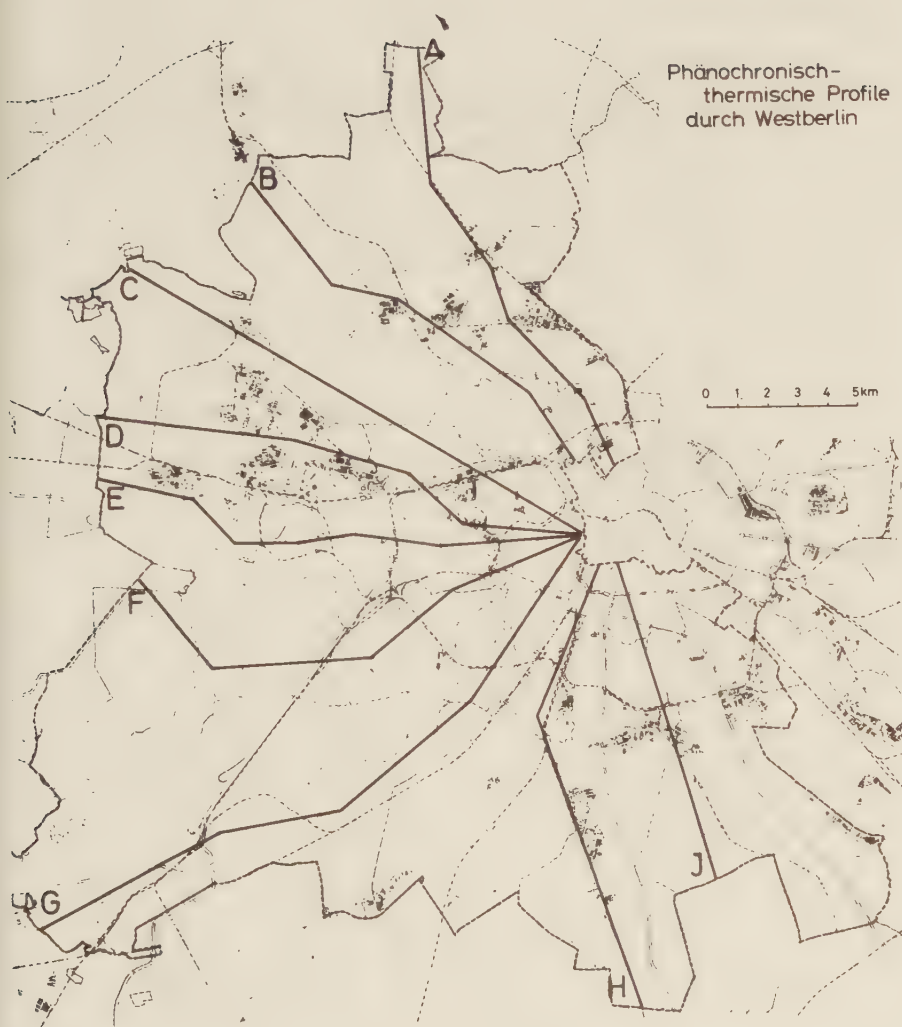
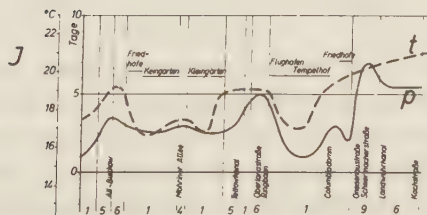


Abb. 35



lung. Wie man leicht feststellen kann, differenzieren die Temperaturen der Strahlungsnächte nur schwach zwischen den verschiedenen Siedlungstypen von halboffener bis zu geschlossen-dichter Bebauung. Die hohen Gradienten werden ausnahmslos außerhalb dichter Siedlungsstrukturen angetroffen. Dagegen lassen die Mittelwerte (phänochronische Daten) selbst geringe Unterschiede der Bebauungsdichte noch hervortreten. In einem Falle (E) ist selbst innerhalb eines geschlossenen dichten Wohngebietes eine breite, mit einer größeren Grünanlage (Schloßpark Charlottenburg) kommunizierende Straße durch deutlich erniedrigte Blühverfrühungsdaten ausgewiesen. Dies erklärt sich, wie schon früher festgestellt, aus der wesentlich größeren Rolle, die der Luftaustausch für die Mittelwerte im Vergleich zu den Temperaturminima spielt.

Der Austauscheffekt überlagert sich z.T. sehr stark dem feinen Differenzierungsvermögen der phänochronischen Daten, so daß auch im dichteren Siedlungsgebiet und bis tief hinein in größere Flächen einheitlicher Bebauung überraschend steile Gradienten angetroffen werden.

Reliefbedingte nächtliche Temperaturdifferenzen können örtlich sehr erhebliche Beträge erreichen (siehe Karlsberg/Barssee im Profil E). Die phänochronischen Daten vermögen diese Differenzen nur sehr abgeschwächt wiederzugeben. Hier verhalten sich also die beiden Parameter gerade umgekehrt wie im besiedelten Gebiet. Freilich waren längst nicht für alle Extrempunkte der Profile phänochronische Daten verfügbar. Doch kann man die Kurvenziehung in unklaren Fällen meist an Hand von Daten aus vergleichbaren Lagen hinreichend begründen.

Dies gilt auch für eine Reihe kleinerer von den Profilen angeschnittener Grünanlagen (vgl. Profil B). In den wenigen Fällen, wo ein Testbaum innerhalb derselben vorhanden war (z.B. im Volkspark Schöneberg, Profil G), erweist sich die beträchtliche abkühlende Wirkung selbst schmaler und wenig ausgedehnter Grünanlagen. Da diese

Wirkung sich stärker in den phänochronischen als in den thermischen Daten ausdrückt, muß man annehmen, daß die Tagesmaxima der Temperatur mindestens ebenso stark wie die nächtlichen Tiefstwerte von der Erniedrigung betroffen sind. Es handelt sich daher hier in der Regel nicht um Relieffeffekte, obgleich ja viele gerade der kleineren Grünanlagen in Senken gelegen sind. Als Hauptursache kann, neben der Abwesenheit stadttypischer Wärmequellen, die Transpiration der grünen Pflanzenteile gelten, wobei die in den Senken relativ günstigeren Bedingungen der Wasserführung in der gleichen Richtung wirksam werden.

7.3.2 Anwendung der phänochronisch-thermischen Beziehung auf topographische Einheiten innerhalb Westberlins

Die einfachste Auswertung der phänochronischen Verteilung besteht darin, daß man der betr. Karte (1) die relativen Zeitwerte für den gewünschten Ort entnimmt und mittels Tab. 31 in Temperaturwerte transformiert. Auch die Skalen der Abbildung 34 können hierzu Verwendung finden. Die Bezugsflächen sind direkt bestimmt, was bei aktueller Fragestellung einen Vorteil gegenüber dem typologischen Vorgehen bedeuten kann. Der entscheidende Nachteil des Verfahrens ist darin zu sehen, daß bei gleicher Größe der Bezugsfläche die topographisch bestimmte Einheit in der Regel einen größeren Temperaturbereich einschließt als die entsprechende Einheit eines Geländetyps. Die bessere örtliche Bestimmtheit wird also durch geringere thermische Bestimmtheit erkauft.

In Tab. 35 wurde versucht, beide Verfahren zu kombinieren. Hier ist zunächst grob nach Stadtteilen differenziert worden, wobei dieselben Verwaltungseinheiten (z.B. Stadtbezirke) mehrmals aufgeführt sein können. Eine weitere Differenzierung der Stadtteile geschah dann vielfach unter Beachtung der geländetypischen Gegebenheiten. Hinter der Bezeichnung des thermisch charakterisierten Gebietes ist daher die der Tab. 33 entnommene Nummer des betr. Stadt-

Tabelle 35

Richtwerte der Temperatur (Mittel der Jahre 1963 - 1967) für einige Gebietsteile Westberlins
(Angabe in Differenzen gegen "Freiland" (grd).
Das Pluszeichen bei positiven Abweichungen ist weggelassen worden.)

	Klimamittel		tägl. Minimum
	$\bar{t}_a$ (relativ)	$\bar{t}_{adn}$ (relativ)	
Frohnau, Waldsiedlung (3)	-0,3 / -0,1	-0,7 / -0,1	
Hermsdorf, Siedlung o. Zentrum (4)	0,0-0,2	0,0-0,5	
Tegeler Fließ unterhalb Egidy-Steg (11)	-0,5 / -0,3	-1,1 / -0,1	
Wittenau, Kleingärten am Nordgraben (1)	-0,2	-0,4	
zw. Nord- u. Packereigraben (5)	0,5-0,7	1,0-1,5	
Reinickendorf südl. Kremmener Bahn (6)	0,7-0,9	1,4-1,9	
Heiligensee, Siedlung südl. "Im Rehgrund" (4)	-0,2	-0,4	
Tegel - Süd p.p. (4)	0,4	1,0	
Tegel - Süd p.p. } (6)	0,7-0,9	1,5-1,9	
Tegel - Ost p.p. }			
Borsigwalde			
Tegel, Kerngebiet (7)	0,8	1,8	
Spandau, Gartenstadt Staaken (5)	0,4	1,0	
Wilhelmstadt (8)	1,1-1,2	2,4-2,7	
Gatow/Kladow, Rieselfelder (1)	-0,2 / +0,1	-0,4 / +0,1	
Havelufer (10)	0,0	0,0	
Siedlungsgebiet (4)	0,0-0,2	0,0-0,4	
Siemensstadt, Kerngebiet (8)	0,9	1,9	
übr. Wohn- u. Industrie- gebiet (6)	0,5-0,9	1,2-1,9	
Volkspark Jungfernheide (2)	0,0-0,2	0,0-0,5	
Grunewald, Siedlung (3)	0,3-0,5	0,6-1,2	
Dahlem, Nordteil (3)	0,0-0,2	0,0-0,4	
Südteil (4)	0,4-0,6	0,8-1,3	
Steglitz (8)	0,8-1,2	1,7-2,7	
Zehlendorf-Süd (4)	0,2	0,4	
Zehlendorf, Onkel-Tom-Siedlung (5/6)	0,4-0,5	0,9-1,1	
Zehlendorf, Kerngebiet (7)	0,8	1,7	
Schlachtensee/Nikolassee (3)	0,1-0,4	0,2-0,8	
Lichterfelde - West (5)	0,7-0,8	1,5-1,8	
Lichterfelde - Süd (4)	0,7	1,5	
Marienfelde (5)	0,6-0,8	1,3-1,8	

Tabelle 35 (Fortsetzung)

	tägl.	
	Klimamittel Minimum	
	$\bar{t}_a$ (relativ)	$\bar{t}_{adn}$ (relativ)
Lichtenrade (4/5)	0,0-0,8	0,0-1,7
Neukölln, Wohn- und Industriegebiet		
südl. Teltowkanal (6)	0,7-0,9	1,5-1,9
, Wohngebiet nördl. Teltowk. (8)	0,9-1,2	1,9-2,7
, Kerngebiet (9)	1,0-1,3	2,1-2,8
Kreuzberg, Nordwestteil mit viel unbe-		
bauter Fläche (6)	0,9-1,1	1,9-2,3
, erhalten gebliebenes Alt-		
baugelbiet (9)	1,0-1,3	2,1-2,8
Tempelhof, Zentralflughafen (1)	0,2-0,4	0,4-0,8
, Wohngebiet westl. Flugha-	0,5-0,6	1,0-1,3
fen (5)		
, Wohn- u. Industriegebiet		
südl. Teltowkanal (6)	0,7-0,9	1,5-1,9
, Kerngebiet (8)	0,9-1,1	2,0-2,3
Schöneberg, Kleingärten am Priester-		
weg (1)	0,4	0,8
, Wohngebiet (9)	1,0-1,2	2,1-2,7
Friedenau (8)	0,8-1,1	1,8-2,4
Wilmersdorf, citynahes Gebiet (9)	0,9-1,6	2,0-3,4
Charlottenburg, City und citynahes		
Gebiet (9)	0,9-1,6	2,0-3,4
, Schloßpark (1)	0,5-0,7	1,2-1,5
Tiergarten, Grünanlage "Tiergarten" (1)	0,4-0,5	0,8-1,2
, Wohngebiet (9)	0,7-1,5	1,5-3,3
Wedding, Altbaugebiet im Süden des		
Bezirk (9)	1,1-1,2	2,3-2,7
Frohnau, Wald im Norden des Ortstei-		
les (2)	-0,5	-1,1
Forst Tegel incl. Jungfernheide (2)	-0,3 / 0,0	-0,7 / 0,0
Forst Grunewald (2)	-0,3 / 0,0	-0,7 / 0,0
Forst Grunewald, NSG Postfenn (11)	-0,5	-1,1
Forst Grunewald, kl. Grunewaldseen-		
rinne zw. Pechsee u.	-0,3 / -0,2	-0,7 / -0,4
Teufelssee (11)		
Forst Düppel (2)	-0,2 / 0,0	-0,4 / 0,0

geländetyps vermerkt worden.

Den Temperaturangaben liegt die relative Skala mit dem Nullpunkt "Freiland" zugrunde. Da z.T. recht kleinflächige Gebiete erfaßt worden sind, erschien es sinnvoll, die Temperaturdaten auf die phänochronischen Originalwerte zu beziehen, wo solche vorliegen (Arbeitskarte zu Karte 1 - hier nicht wiedergegeben). Die angegebene Temperaturspanne entspricht in diesem Falle unmittelbar der Spanne der im Gebiet beobachteten phänochronischen Daten. In Gebieten mit im wesentlichen einheitlicher Blühzeit wurden die betreffenden Äquivalente selbst, ohne Angabe einer Spanne vermerkt. Gleiches gilt für Gebiete, die nur durch einen Beobachtungspunkt belegt sind. Das kommt jedoch nur wenige Male vor.

Den Anfang der Tabelle nehmen die mehr oder weniger locker besiedelten Gebiete ein. Im Norden von Westberlin beginnend ergibt sich die Reihenfolge aus der Umfahrung des Stadtkernes entgegengesetzt zum Uhrzeigersinn. Sodann folgen in umgekehrter Richtung die Gebiete mit geschlossener Bebauung. Die Westberliner Forsten bilden den Schluß der Tabelle.

Eine vollständige Erfassung aller Teile des Untersuchungsgebietes ist nicht angestrebt worden, da es hier in erster Linie darum ging, an Hand von Beispielen zu zeigen, in welchem Maße sich topographisch beschriebene Einheiten des Stadtbereiches thermisch differenzieren lassen.

8. Spezielle stadtklimatologische Erörterungen

8.1 Charakterisierung des stadttypischen Temperaturklimas

Abgesehen vom Reinheitsgrad der Luft ist die Temperatur dasjenige meteorologische Element, das im Stadtbereich die auffälligste Modifizierung erfährt. Einzelheiten möge man der Monographie über das Stadtklima von KRATZER (1956) entnehmen. Als biologisch wichtige Parameter seien angeführt:

Dauer der frostfreien Zeit (16-61 Tage länger)
Zahl der Frosttage (10-31 weniger)⁺
mittleres tägl. Temperaturminimum (1-3 grd höher)
Mitteltemperatur (0,5 - 1,5 grd höher)
mittl. Tagesschwankung der Temp. (0,9 - 2,5 grd weniger)

Die Zahlenangaben sind KRATZERS Monographie entnommen oder aus seinen Angaben abgeleitet. Die fünf an dieser Stelle verzeichneten Parameter beziehen sich auf das ganze Jahr. Die täglichen Maxima der Temperatur sind in der Stadt nur geringfügig höher, z.T. auch etwas niedriger als in der Umgebung.

Der Tagesgang der Stadttemperatur ist somit durch eine merkliche Amplituden_dämpfung gekennzeichnet, welcher sich eine summarische Warmverschiebung der diurnalen Temperaturschwingung überlagert. Daher zeigt sich die Amplituden_dämpfung hauptsächlich nur bei den Minima. Daneben führt KRATZER eine Verschleppung der Extremwerte als Charakteristikum an. Zahlenangaben hierüber sind seiner Arbeit nicht zu entnehmen. Eine eigene Untersuchung an Hand eines Berliner Stationspaares erbrachte hierzu

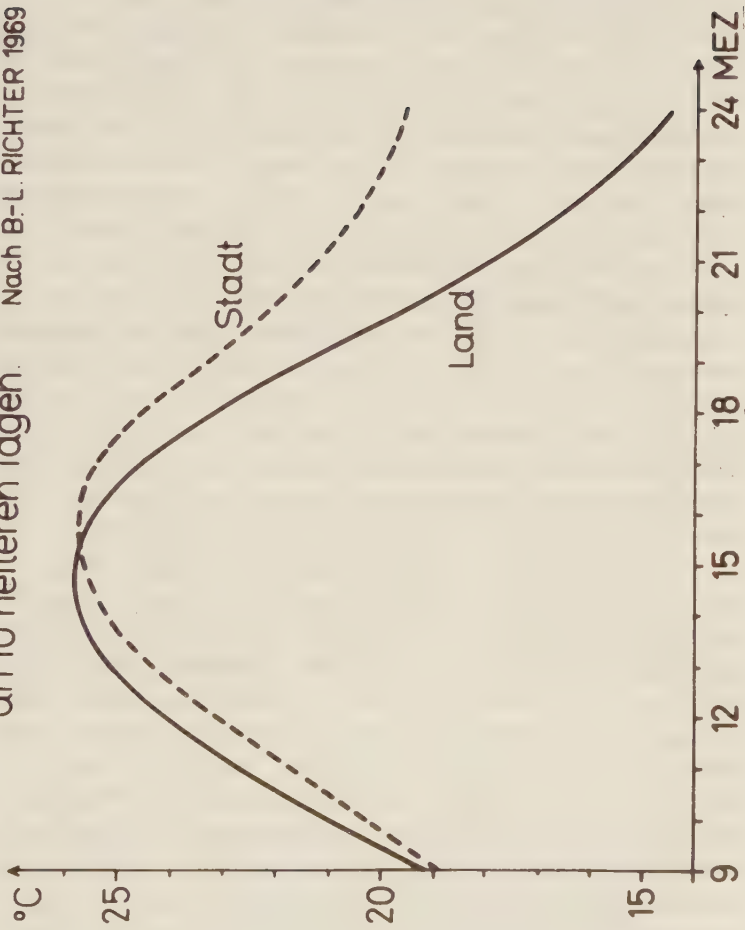
+) SCHLAAK (1963) nennt für das Berliner Stadtgebiet ein Minus von etwa 40 Frosttagen, was aber eindeutig auf der unter 6.4.2 nachgewiesenen anomalen Lage der peripheren Stationen beruht.

keine signifikanten Ergebnisse; doch fand RICHTER (1969) ein Nachhinken des Temperaturmaximums der Berliner Innenstadt an heiteren Sommertagen von einer Stunde gegenüber dem Freiland (Abb. 37). Die Untersuchungen von EMONDS (1954) in Bonn ergaben eine einstündige Verschleppung des morgendlichen Minimums ("Temperaturdämmerung") im Stadtinneren, während das mittägliche Maximum überall etwa gleichzeitig erreicht wurde. Bei der Beurteilung dieser Ergebnisse hat man zu berücksichtigen, daß die von RICHTER verwandten Geräte (Aspirationspsychrometer) zur Messung frei aufgehängt waren, während EMONDS seine Werte in der Englischen Hütte ermittelte.

Der Tagesgang der Temperaturdifferenz Stadt-Land läßt sich, unter Mitverwendung Berliner Ergebnisse wie folgt beschreiben: Die Differenz zeigt während der Nacht eine leicht fallende bis leicht steigende Tendenz. Meist folgt kurz vor oder um Sonnenaufgang ein steilerer Anstieg, der aber eine halbe bis eine Stunde nach Sonnenaufgang abbricht. Von hier an erwärmt sich das offene Land zunächst sehr viel rascher als das Stadtinnere. So pflegt im Laufe des Vormittags die Übertemperatur des letzteren ganz oder fast ganz zu verschwinden. Meist nimmt die Temperaturdifferenz schließlich sogar leicht negative Werte an. Vom Mittag bis kurz vor Sonnenuntergang bleibt die Differenz gering, wenngleich, je nach den Besonderheiten der Tageswitterung, mit Unterschieden. Mit Erreichen der negativen Strahlungsbilanz beginnt eine Phase steilen Anstiegs der Temperaturdifferenz, die etwa ein bis zwei Stunden nach Sonnenuntergang wieder in den flachen nächtlichen Verlauf übergeht.

Die höchsten Übertemperaturen der Stadt treten somit im Laufe der Nacht auf. Die bisher größte gleichzeitige Temperaturdifferenz zwischen den Stationen Charlottenburg (Cf) und Tegel-Fließtal (Tm) wurde am 24.2.1963 um 0.30 Uhr gemessen und betrug 9,7 grad. Noch höhere Differenzen (13,3 grad) ergaben sich zu diesem Zeitpunkt gegen eine

Mittlerer Tagesgang d. Lufttemperatur (1,70m ü. Grund)
an 10 heiteren Tagen. Nach B.-L. RICHTER 1969



andere Außenstation (Sj) im Forst Spandau. Auch in Bezug auf die tagesperiodischen Verhältnisse darf jedoch nicht übersehen werden, daß es sich bei den betr. Stationspaaren nicht um repräsentativ ausgewählte handelt, daß vielmehr insbesondere die Außenstationen die Temperaturen lokaler Kaltluftansammlungen erfassen, während die Station Charlottenburg die innerstädtische Wärmeinsel nur tangiert. Zeitliche Verschiebungen im Tagesgang der Temperaturdifferenz Stadt-Land folgen aus den sich im Jahresablauf verändernden Zeiten des Sonnenaufgangs und -untergangs. Auch in den mittäglichen Differenzen scheint sich, den von KRATZER veröffentlichten Daten zufolge, ein Jahresgang anzudeuten: Im Winter liegt das nachmittägliche Temperaturmaximum in der Stadt in der Regel einige Zehntelgrade über dem des Landes, während zu den übrigen Jahreszeiten das städtische Maximum von der Landstation erreicht und meist übertroffen wird. Dieses aus jahreszeitlichen Durchschnittswerten geschlossene Verhalten muß für ausgesprochene Strahlungstage nicht gleichermaßen gelten.

Der jährliche Gang der thermischen Stadtanomalie zeigt im Ortsvergleich keine einheitliche Tendenz. Die von KRATZER beigebrachten Beispiele lassen erkennen, daß im europäischen Raum durchaus gegensätzliche Verlaufstypen angetroffen werden. Neben den unterschiedlichen Jahresgängen von Wind und Bewölkung sind hierfür zweifellos auch die uneinheitlichen Kriterien bei der Auswahl der "Freiland"-Station, z.T. sicher auch der Innenstation, verantwortlich zu machen. In Berlin, wo, wie gezeigt werden konnte, ein nennenswerter Jahresgang der Temperaturdifferenz gegenüber Repräsentativstationen der Umgebung nicht zu verzeichnen ist, läßt sich dennoch ein recht auffälliger Jahresgang der Differenz zwischen der citynahen Station Charlottenburg und peripheren Waldrand- und Waldlichtungslagen beobachten. Dieser ist eng korreliert mit den Jahresgängen von Bewölkung und Windgeschwindigkeit (Tab. 36).

Tabelle 36 Vergleichende Zusammenstellung von Temperaturdifferenzen⁺) Innenstadt-Peripherie sowie von Windgeschwindigkeit⁺⁺) und Bewölkung⁺⁺⁺) in Berlin

	Winter	Frühling	Sommer	Herbst	Jahr
t (grd)	0,7	1,0	1,4	1,2	1,1
t _{dx} (grd)	+0,2	+0,1	+0,2	+0,1	+0,2
t _{dn} (grd)	1,4	1,8	2,3	1,7	1,8
Windgeschwindigkeit (m/s)	3,1	2,9	2,6	2,8	2,9
Bewölkung (Zehntel)	7,7	6,4	5,9	6,7	6,7

+) Mittlere Abweichungen der Station Charlottenburg (Cf) gegen sieben Stationen der Peripherie (Mittel der Jahre 1963-1967)

++) Berlin-Dahlem, Meteorologisches Institut (Dp) (Mittel der Jahre 1950-1968)

+++) Berlin-Dahlem (Dp) (Mittel der Jahre 1963-1967)

8.2 Ursachen des stadttypischen Temperaturklimas

Die thermische Spezifität des Stadtklimas läßt sich nicht auf einen Faktor zurückführen. Die Besonderheiten der städtischen Umwelt im Vergleich zur offenen Landschaft sind mannigfaltig. Wenngleich das Thermoklima der Stadt eine weitgehend einheitliche Tendenz aufweist, kommt diese doch durch das Zusammenwirken recht unterschiedlicher Prozesse zustande. Im einzelnen sind hier auch solche beteiligt, welche der Tendenz entgegengerichtete Wirkungen hervorbringen, die zeitweise sogar dominieren und die Stadt gegenüber dem Umland thermisch benachteiligen können.

Wir müssen unterscheiden zwischen solchen Faktoren, die sich vorwiegend auf den Tagesgang der Temperatur in der Stadt auswirken und solchen, die einen echten Wärmege-
winn beinhalten und infolgedessen eine relative Erhö-
hung der langzeitlichen Durchschnittstemperaturen des
Stadtgebietes gegenüber seiner freien Umgebung bedingen.
Diese letzteren sollen hier in erster Linie Berücksich-
tigung finden.

Die der Stadt eigene D u n s t g l o c k e wird meist
an erster Stelle unter den Ursachen der städtischen
Übertemperatur genannt. Diese Auffassung geht auf SUND-
BORG (1951) zurück, und auch KRATZER hält an ihr fest.
Von den beiden gegensätzlichen Wirkungen des Stadtdun-
stes auf den Energiehaushalt besteht aber die eine ge-
rade in der Verminderung der Insolation. Diese beträgt
z.B. in Wien, bei 30° Sonnenhöhe, zu allen Jahreszeiten
etwa 15% (STEINHAUSER 1934). Bei niedrigerem Sonnen-
stand kann der betr. Anteil 30% übersteigen, bei hohem
bis auf 9% zurückgehen. Für Berlin wurde eine stadt-
dunstbedingte Schwächung der Sonnenstrahlung von im
Mittel 21% angegeben (BÜTTNER 1929), was mit STEINHAU-
SERS Angaben gut übereinstimmt. Für den Berliner Raum
geht man am besten von den Strahlungsdaten des Hauptob-
servatoriums Potsdam aus (Tab.9). Die hier, weitgehend
außerhalb der Dunstglocke Berlins, gemessene mittlere
Tagessumme der direkten Sonnenstrahlung beträgt im Jah-
resdurchschnitt 55 W/m^2 . BÜTTNERS Mittelwert überneh-
mend folgt dann ein Energiebetrag von 12 W/m^2 , der vom
Stadtdunst zurückgehalten wird.

Eine den vorgenannten Effekt kompensierende Verstärkung
der Himmelsstrahlung, welche sich bei der natürlichen
Lufttrübung beobachten läßt, scheint beim Stadtdunst nicht
oder nur in geringem Maße gegeben zu sein (DIRMHORN 1964)
und wird vermutlich völlig ausgeglichen durch die Vermin-
derung der Sonnenscheindauer, welche z.B. in Essen zu
durchschnittlich 9% bestimmt wurde (KRATZER 1956).

Wird somit der Energieumsatz auf Grund kurzweiliger Strahlung durch den Stadtdunst ohne Zweifel verringert, so ist das Gegenteil der Fall in Bezug auf den Energieumsatz im langwelligen Bereich der Temperaturstrahlung ($> 3\mu$). Diesem Bereich gehören rund $2/3$ der insgesamt an der Erdoberfläche absorbierten Strahlung an (WALCH 1967). Er wird als "atmosphärische Gegenstrahlung" bezeichnet und entstammt in erster Linie den Wolken. Darüberhinaus strahlen auch die atmosphärischen Gase entsprechend ihren Emissionseigenschaften. Im Bereich $> 3\mu$ kommt hierbei dem Wasserdampf sowie dem Kohlendioxid der Luft die größte Wirksamkeit zu. Die Bedeutung des Stadtdunstes für die atmosphärische Gegenstrahlung beruht auf dem Umstand, daß sich die betr. Partikel in nicht zu großer Höhe über dem Erdboden befinden und deshalb verhältnismäßig warm sind. Bei geschlossener Wolkendecke und damit ohnehin minimaler effektiver Ausstrahlung kann der Stadtdunst die Gegenstrahlung freilich nur unwesentlich intensivieren. Bei wolkenlosem Himmel dürfte er sie jedoch nicht weniger verstärken, als er die kurzweilige Einstrahlung abschwächt (21%, s.ob.). Die durchschnittliche Himmelsbedeckung mit Wolken im Havel-Spree-Raum beträgt nach HENDL 65%. Es ist also im Jahresmittel mit einer etwa 7%igen Verstärkung der atmosphärischen Gegenstrahlung zu rechnen. Für unser Gebiet entspricht das einem Betrag von 14 W/m^2 .

Faßt man die beiden hier überschläglich quantifizierten Auswirkungen auf kurzweilige und langweilige Strahlungsbilanz zusammen, so resultiert eine Erhöhung der Gesamtbilanz durch den Stadtdunst von etwa 2 W/m^2 . Bei der durch das sehr grobe Abschätzungsverfahren bedingten hohen Unsicherheit kann dieser Wert nicht als signifikant von Null verschieden angesehen werden.

Die Ergebnisse einer neueren Untersuchung seien vergleichend angeführt. In Cincinnati/Ohio (ca. 500 000 Einw.) fanden BACH und PATTERSON (1969) die Sonnenstrahlung nur um knapp 4% gegenüber den weit außerhalb der Stadt be-

stimmten Beträgen vermindert. Versucht man aus ihren bei sommerlichen und herbstlichen Hochdruckwetterlagen gemessenen Terminwerten mittlere Tagesgänge abzuleiten und zu integrieren, so ergeben sich für die Stadt die folgenden Differenzbeträge: -7 W/m^2 für die kurzwellige Einstrahlung und $+15 \text{ W/m}^2$ für die langwellige. Die Mehreinnahme der Stadt beträgt somit insgesamt ca. 8 W/m^2 . Hiernach kann dem Stadtdunst bei Strahlungslagen durchaus eine gewisse Bedeutung für die Stadtwärme beigemessen werden. Im Mittel aller vorkommenden Witterungen, d.h. bei Berücksichtigung der durchschnittlichen Wolkenbedeckung, wird man jedoch auch für Cincinnati mit einem sehr viel geringeren Betrag, etwa in der Größenordnung des oben für Berlin geschätzten, zu rechnen haben. Bestätigt wird eine solche Einschätzung auch durch PARRY (1967), welcher auf Grund von vergleichenden Messungen in Reading/England zu dem Schluß gelangt, "that there is no apparent relationship between mean minimum temperatures and mean smoke concentrations ...".

Daß die betr. Auswirkungen des Stadtdunstes einen nennenswerten Umfang erlangen ist auch deshalb zu bezweifeln, weil, wie vielfach belegt, die Umrisse von städtischen Flächen einheitlicher Baustruktur bzw. Bebauungsdichte ziemlich genau vom Isothermenverlauf abgebildet werden. Insbesondere gilt das für die aktuellen Temperaturen in klaren windschwachen Nächten (DUCKWORTH u. SANDBERG 1954).

KRATZER führt an zweiter Stelle als komplexe Ursache des höheren Temperaturniveaus der Stadt "sie selbst in ihren Häusern und Straßen" an und stellt dabei drei Aspekte heraus: den Baustoff, die Oberflächenform und die Trockenheit (rasche Abführung des Niederschlagswassers in die Kanalisation).

Beim B a u s t o f f der Stadt handelt es sich zumeist um Materialien mit größerer Wärmekapazität und -leitfä-

higkeit, verglichen mit den entsprechenden Eigenschaften der in der freien Umgebung überwiegenden Substrate. Das konsistentere Substrat der Stadt erwärmt sich und die darüberlagernde Luftschicht relativ langsam, vermag aber rasch größere Wärmemengen zu speichern und sie, bei Umkehrung des Energiegefälles, an die nunmehr kühlere Luft abzugeben. Die Folge ist eine Dämpfung und Verzögerung des Tagesganges, insbesondere der Temperatur. Eine höhere Mitteltemperatur der Stadt über längere Zeit läßt sich indessen aus den Eigenschaften der betr. Baustoffe nicht ableiten.

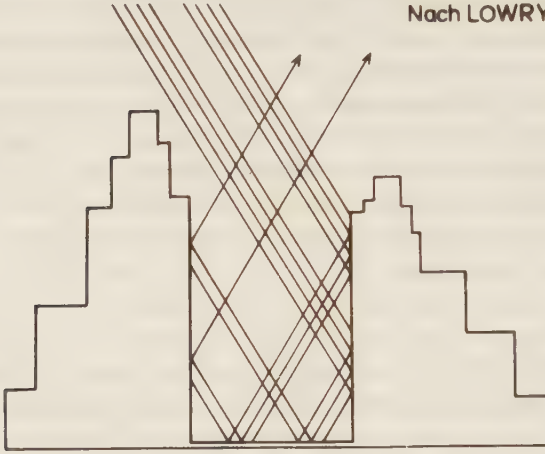
Einer Einschränkung bedarf diese Feststellung bezüglich der Albedo, welche gleichfalls eine Eigenschaft der jeweiligen Substrate, genauer: ihrer Oberflächen darstellt. Zur Bestimmung der Albedo eines Geländeteiles genügt es freilich nicht, das Reflexionsvermögen der beteiligten Materialien bzw. ihrer ebenen Oberflächen zu kennen. Von Bedeutung ist auch der Grad der vertikalen Gliederung des Geländes einschließlich Bebauung und Vegetation. Eine stark gegliederte Oberfläche verhält sich "like a maze of reflectors, absorbing some of the energy they receive and directing much of the rest to other absorbing surfaces" (LOWRY 1967). Von einer vertikal gegliederten Oberfläche wird also ein insgesamt größerer Anteil der eingestrahnten Energie absorbiert, d.h. in Wärme verwandelt, als von einer ebenen Oberfläche des gleichen Materials, bzw. gleicher spezifischer Albedo.

LOWRY sieht den absorptionserhöhenden Effekt der Mehrfachreflexion vorwiegend bei stadtypischen Oberflächen gegeben (Abb. 38a), nur in geringem Maße dagegen bei Oberflächen der land- und forstwirtschaftlich genutzten Landschaft (Abb. 38b). Dem steht entgegen, daß die nicht-städtischen Flächen zum größten Teil von Vegetation eingenommen sind. Jede grüne Pflanze bildet aber, nicht weniger als die Dächer, Hauswände und Straßen der Stadt, ein "Labyrinth aus Reflektoren". Zumindest ist der Nachweis noch

Wirkung der Oberflächenform („city“
und „countryside“) auf die Absorption
der Sonnenstrahlung

Nach LOWRY

a)



b)

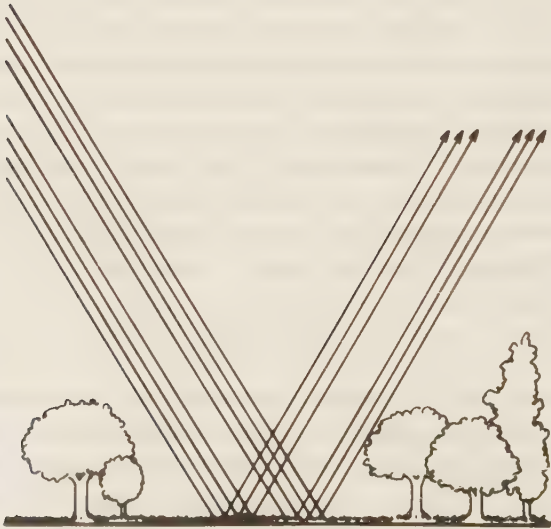


Abb. 38

nicht erbracht, daß eine typische Stadtoberfläche hierin einer Wiese, einem Rapsfeld oder gar einem Wald überlegen ist. Allenfalls für die winterliche Ruheperiode kann eine strukturbedingte Mehrabsorption der Stadt gegenüber dem Land als wahrscheinlich gelten. In quantitativer Hinsicht ist Abb. 38 irreführend. Natürlich muß, gleiche Wandalbedo vorausgesetzt, der Prozentsatz absorbiertener Strahlungsenergie bei jedem Auftreffen der gleiche bleiben und darf nicht, wie hier dargestellt, am Anfang 25%, am Ende 50% betragen.

Aus den Albedowerten stadttypischer Materialien folgert DIRMHIRN (1953), anscheinend unter Einbeziehung des o.a. Labyrintheffektes, eine integrale Albedo geschlossener verbauter Siedlungen von etwa 20%. Um einen Jahresdurchschnittswert zu erhalten, müssen aber noch die mittleren Schneeverhältnisse berücksichtigt werden. Der hiernach für Berlin ermittelte Zuschlag führt zur Annahme einer Jahresalbedo von 22%. Der tatsächliche Wert ist eher etwas niedriger zu veranschlagen, da die in Dahlem vorgenommenen Schneebeobachtungen nicht ganz die Verhältnisse im Stadttinneren wiederzugeben vermögen.

Dirmhirn (1964) publizierte auch Daten für den jahreszeitlichen Gang der Albedo von Wiesenland und Getreidefeldern der Wiener Umgebung. Hieraus ergeben sich, wiederum unter Berücksichtigung der in Berlin geringeren Zahl der Tage mit Schneedecke, für Wiesenland 23%, für Getreidefelder ca. 20% als Jahresmittel der Albedo. Für Wald dürfte der entsprechende Wert bei etwas über 15% liegen.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß sich die durchschnittliche Albedo einer Stadtoberfläche, zumindest im mitteleuropäischen Raum, nicht nennenswert von der eines ländlichen Gebietes unterscheidet. Im Sommer wird man die höhere Wärmeausbeute eher für das Land vermuten, während an winterlichen Tagen mit Schneedecke die niedrigere Albedo und somit höhere kurzweilige Strahlungsbilanz in der Stadt anzutreffen sein dürfte. Da aber im Winter die dem

Stadtgebiet durchschnittlich zukommende Globalstrahlung ziemlich gering ist (in Berlin dürfte der Wert für den meteorologischen Winter eher unter als über 30 W/m^2 liegen), bringt selbst eine gegenüber dem Land um 10% erniedrigte Albedo der Stadt keinen nennenswerten Wärme-gewinn.

Die energetischen Auswirkungen der relativen T r o k - k e n h e i t städtischer Oberflächen wird leicht unterschätzt und sei hier an einem Beispiel demonstriert: Während im Havelgebiet durchschnittlich 80% des Jahresniederschlages wieder verdunsten, im Mittel der Monate April bis Juni sogar 125%, bezogen auf die in diesem Zeitraum fallenden Niederschläge (nach KOEHNE 1948 aus GRUNOW 1952), wird für typisches Stadtgelände die Verdunstung von nur einem Drittel der einkommenden Niederschlagsmenge angegeben (KRATZER 1956). Für eine Stadt im nordost-deutschen Flachland kann man also überschläglich rechnen, daß die Hälfte des Niederschlagswassers unmittelbar in die Kanalisation gelangt. Für Berlin (mittlerer Jahresniederschlag 585 mm) errechnet sich hiernach ein zusätzlicher Energiebetrag von 23 W/m^2 , welcher der Stadtluft als Wärme zugute kommt. Die hier zugrundeliegende aktuelle Verdunstung zeigt jedoch einen stark ausgeprägten Jahresgang und liegt im Havelgebiet während der Monate Mai bis Juli etwa 6-fach höher als während der Monate November bis Februar (KOEHNE l.c.). Im engeren Stadtbereich kann man allerdings eine leicht verminderte Amplitude des betr. Jahresganges erwarten, da im Winter ein Teil der Niederschläge in fester Form fällt und daher zu einem weniger hohen Anteil in die Kanalisation gelangt, als das für die durchwegs in flüssiger Form und oft als Starkregen fallenden sommerlichen Niederschläge gilt. Wahrscheinlich wird im Winter innerhalb des bebauten Stadtgebietes zeitweise sogar ein größerer Niederschlagsanteil als im Freiland verdunstet; doch kann man wohl im Winterdurchschnitt von einem verdunstungs- bzw. trockenheitsbedingten thermoklimatischen Stadteffekt ganz absehen.

Von den rund 200 mm Niederschlag, die durchschnittlich im Verlauf der drei Sommermonate in Berlin-Dahlem fallen, dürfte nach der obigen Schätzung gut ein Liter/m²·d durch sofortiges Abfließen am verdunsten gehindert sein, was einem zusätzlichen Energiebetrag für das innerstädtische Gebiet von rund 30 W/m² gleichkommt.

FLOHN (mdl.) nimmt an, daß insbesondere industrielle Ballungsgebiete eher durch ein Mehr an Evaporation ausgezeichnet sind, da hier große Wassermengen bei verschiedenen industriellen Prozessen (insbesondere Kühlvorgängen) an die Luft abgegeben werden. Die hierfür erforderliche Energie entstammt jedoch den wärmeerzeugenden Prozessen selbst, nicht der Stadtluft. Beachtung verdient dieser Faktor indes bei der Berechnung der artifiziellen Wärmefreisetzung (s.u.), da die im Wasserdampf gebundene latente Wärme in der Regel erst in größerer Höhe über Grund (Kondensationsniveau) für die Lufterwärmung zur Verfügung steht. Da es sich hier nicht um das eigentliche Industrieland sondern um innerstädtische Wohn- und Geschäftsviertel handelt, kann der betr. Faktor außer Betracht bleiben.

Der Stadttrockenheit thermisch entgegengesetzte Auswirkungen besitzt die in der Stadt v e r r i n g e r t e L u f t f e u c h t i g k e i t . Es handelt sich dabei zum einen um eine Verminderung der atmosphärischen Gegenstrahlung infolge des im Stadtinneren um durchschnittlich 0,2 bis 0,5 Torr niedrigeren Wasserdampfdruckes (KRATZER 1956). Bei der Bestimmung des Stadtdunsteffektes wird dieser Betrag jedoch zwangsläufig miterfaßt, braucht also hier nicht noch einmal gesondert aufgeführt zu werden. Zum anderen ist die Taubildung infolge der geringeren relativen Feuchtigkeit der Stadtluft erschwert. GRUNOW (1952) gibt die Taumenge für Deutschland zu 3 bis 5% des Jahresniederschlages an. Für die Berliner Umgebung wären das ca. 24mm/Jahr oder 0,07 mm/d. Selbst unter der übertriebenen Annahme, daß die Innenstadt keinerlei Tauniederschlag erhält, erweist sich der Energiebe-

trag, der dieser dadurch verloren geht (Kondensationswärme) mit ca 2 W/m^2 als relativ geringfügig.

Schließlich ist noch die künstliche Wärme zu f u h r als für die Übertemperatur belangvoller Faktor anzuführen. SCHMIDT (1917) ermittelte den betr. Wert für das damals bebaute Gebiet von Berlin zu umgerechnet 22 W/m^2 , wobei er den Brennstoffverbrauch der Stadt zugrunde legte. Unter den von FLOHN (in "SMIG" 1971) zusammengestellten neueren Daten des Energieverbrauchs großer Industriestädte ist für das bebaute Areal (234 km^2) von Westberlin ein Wert von rd. 21 W/m^2 angegeben. Daß zwischen 1917 und den 60er Jahren der flächenbezogene Energieverbrauch praktisch gleichgeblieben sein soll muß bezweifelt werden. SCHAEFER (1971) verweist auf die zahlreichen Fehlerquellen bei derartigen Berechnungen. Für das Gebiet der Stadt München (insgesamt, incl. nichtbebautem Gelände) gelangt er bei sehr sorgfältigem Abwägen der betr. Einflußgrößen zu folgenden Durchschnittswerten (umgerechnet):

14 Watt/m ²	für das ganze Jahr
16 Watt/m ²	für die Heizperiode (7 Monate)
10 Watt/m ²	für die 5 heizungsfreien Monate

Leider kann man die hier wiedergegebenen jahreszeitlichen Angaben auch in ihren Relationen nicht ohne weiteres für unser Untersuchungsgebiet übernehmen, da die Berliner Angaben allein auf die bebaute Fläche bezogen sind. Hierbei dürften die relativen Unterschiede zwischen Heizperiode und heizungsfreier Zeit größer ausfallen, da Heizwärme nur innerhalb dieser Flächen freigesetzt wird. Unter der Annahme, daß in solchen Gebieten der winterliche Gesamtenergieverbrauch den des Sommers um etwa 100% übertrifft, käme man, von FLOHNs Angabe (s.o.) ausgehend, für Berlin auf 26 W/m^2 im Winter und 13 W/m^2 im Sommer.

BACH und PATTERSON (1969), in der o.a. Arbeit über Cincinnati/Ohio, errechneten für den von künstlichen Wärmequellen beigesteuerten Energiebetrag insgesamt 26 W/m^2 .

Hierbei handelt es sich ausdrücklich um sommerliche Verhältnisse. Der für jene außerordentlich hoch erscheinende Wert ist wahrscheinlich zum erheblichen Teil darauf zurückzuführen, daß die Klimatisierung von Innenräumen während der warmen Jahreszeit ("air-conditioning") in den USA eine weit größere Rolle spielt als in Europa. Das Beispiel mag auch vor schematischer Übertragung von in einem Gebiet ermittelten Stadtklimadaten auf ein anderes Gebiet warnen.

Eine zusammenfassende Einschätzung der stadtklimatisch relevanten Wärmequellen führt zu der Feststellung, daß im wesentlichen nur zwei der in der Literatur diskutierten Faktoren als das höhere Temperaturniveau der Städte verursachend in Betracht kommen: T r o c k e n - h e i t und k ü n s t l i c h e W ä r m e z u f u h r. Unterschiede der Albedo zwischen Stadt und Land können zeitweise einen gewissen Einfluß erlangen. Wärmeeigenschaften des Mauerwerks etc. sind für den charakteristischen Tagesgang der Stadttemperaturen verantwortlich. Thermische Auswirkungen des Stadtdunstes und der Trockenheit der Stadtluft sind im Durchschnitt gering, können aber ebenfalls zeitweise von Bedeutung sein.

Der jeweilige Anteil der beiden Hauptfaktoren an der Stadtwärme unterliegt einem jahresperiodischen Wechsel. Künstliche Wärmequellen sind im Winterhalbjahr praktisch allein wirksam (26 W/m^2). Während der Vegetationsperiode wirken beide Faktoren zusammen (43 W/m^2), wobei dem Trockenheitseffekt mit rd. 30 W/m^2 die größere Bedeutung zukommt.

Der für den Winter genannte Betrag übertrifft den Betrag der in Potsdam bei Berlin im Dezember durchschnittlich einkommenden Globalstrahlung (20 W/m^2 , s.Tab. 9) und liegt nur knapp unter den betr. Werten für die Monate November und Januar. In Bezug auf die tatsächlich durch Sonneneinstrahlung dem System zugeführten Energien (kurzwellige Strahlungsbilanz) wird die Bedeutung der

städtischen Zusatzenergien während der Wintermonate noch besser erkennbar. So muß man GEIGER (1961) beipflichten, wenn er zu dem Schluß gelangt, daß im Winter die stadteigene künstliche Wärmezufuhr der Sonnenstrahlung ebenbürtig gegenüberstehe.

In der warmen Jahreszeit ist zwar die stadtbedingte Zusatzwärme um mehr als die Hälfte größer als im Winter; doch sind das nur ca. 20%, bezogen auf die im Sommer durchschnittlich einkommende Globalstrahlung (Potsdam) - etwa ein Viertel der betr. Strahlungsbilanz. Immerhin ist auch dieser Anteil als für das städtische Thermoklima belangvoll einzuschätzen.

Wie bereits gezeigt, schwanken die Temperaturdifferenzen zwischen der Stadt und ihrem Umland in weiten Grenzen. Hierfür sind aber nicht vorrangig Schwankungen der energetischen Mehreinnahme verantwortlich zu machen. Eine wesentliche Bedeutung für die thermische Realisierung des höheren städtischen Energiepotentials kommt dem advektiven Austausch zu. Die Austauschbedingungen werden durch die aerodynamisch äußerst rauhe Oberfläche der Stadt erheblich verändert. Zwischen den Häuserblocks vermag sich, vergleichbar den Verhältnissen im Waldinneren, ein konservatives Klima hoher autochthoner Spezifität auszubilden. In Bremen konnte MEY (1933) stadteigene Klimazüge bis zu einer Windgeschwindigkeit von etwa 8 m/s (Innenstadt) feststellen.

Als weiterer Faktor des fremdbürtigen Klimaanteils ist ferner die Bewölkung zu nennen. Über diesbezügliche Unterschiede zwischen Stadt und Umland ist relativ wenig sicheres bekannt. Zählt man die Nebellagen hier mit hinzu, was im Hinblick auf das Temperaturklima sinnvoll erscheint, so ergibt sich für die Stadt eine deutlich größere Häufigkeit von Tagen mit bedecktem Himmel, wobei der größte Teil dann freilich auf das Winterhalbjahr entfallen dürfte. Der Ausbildung der o.a. autochthonen Klimaprägung des Stadtgeländes wirkt der Bewölkungsfaktor somit entgegen.

8.3 Betrachtung zum Temperaturklima im Städtebau

Zumindest im Bereich mittlerer Breiten dürften Klimafragen in Stadtplanung und Städtebau vorerst noch nicht die Bedeutung erlangen, die sie für den Häuserbau und Fragen der Architektur seit je besitzen (vgl. OLGAY 1963, WMO 1970). Der Stellenwert insbesondere des Temperaturklimas im Rahmen der städtebaulich relevanten Kriterien muß erst noch begründet werden. Wissenschaftliche Unterlagen zu diesem Komplex fehlen noch weitgehend. Jedenfalls erscheint es nicht überflüssig, die thermischen Auswirkungen städtebaulicher Maßnahmen zu diskutieren.

Freilich können hier nicht alle denkbaren Aspekte behandelt werden. Insbesondere bleiben die indirekten Wirkungen der Temperaturverteilung hier unberücksichtigt, z.B. die Ausbildung lokaler Kleinzirkulationen oder die Auflösung einer Grundsichtinversion im Bereich der städtischen Wärmeinsel - beides Erscheinungen mit Auswirkung u.a. auf den Verunreinigungsgrad der Luft.

Bei den direkten Temperaturwirkungen läßt sich unterscheiden zwischen Wirkungen der Stadtform und -größe einerseits und solchen der inneren Beschaffenheit einer Stadt andererseits. Beide Aspekte sind eng aufeinander bezogen, weshalb auch alle diesbezüglichen Detailplanungen aus einer komplexen Bearbeitung heraus zu entwickeln sind. Hier erweisen sich die gegenwärtigen Normen etwa für die städtische Freiflächenplanung als nicht ausreichend flexibel.

Die Alternative für wachsende Städte: innere Verdichtung oder horizontale Ausweitung des Siedlungsgebietes wird dort, wo das Umland zur Verfügung steht, heute meist noch im letzteren Sinne entschieden. Innere Verdichtung bedeutet aber nicht zwangsläufig ein schlechteres Lebensmilieu, denn sie ermöglicht u.a. Erhaltung von natürlichen Landschaften und Erholungsressourcen im städtischen Nahbereich

sowie deren leichte Erreichbarkeit mit - strukturbedingt - relativ rentabel zu betreibenden kommunalen Verkehrsmitteln. Die Frage der innerstädtischen Freiräume steht hierzu in enger Wechselbeziehung, und zwar sowohl was deren Flächenanteil insgesamt als auch was ihre Verteilung im Stadtgebiet betrifft. Das gilt natürlich nicht allein und auch nicht vorrangig für temperaturklimatische Erwägungen, verdient aber auch bei diesen Beachtung.

Planerische Berücksichtigung der Temperaturverhältnisse im Stadtgebiet setzt deren klimahygienische Bewertung zu verschiedenen Jahres- und Tageszeiten sowie unter den Bedingungen der vorkommenden Witterungen voraus. Da der witterungsklimatische Ansatz in vorliegender Untersuchung nicht eingehender verfolgt worden ist, können die folgenden Ausführungen nicht bereits als eine solche anzustrebende Bewertung, sondern allenfalls als eine grobe Abschätzung der betr. Temperaturwirkungen angesehen werden.

Für Mitteleuropa ist die Stadtwärme im Winterhalbjahr, einschließlich der Zeiten der Spät- und Frühfröste, erwünscht, jedoch im Sommerhalbjahr, bei Hochdruckwetterlagen, zeitweise lästig, insbesondere während des Nachmittags und der ersten Nachthälfte. Der Gesichtspunkt, unter dem die sommerliche "Backofenhitze" der Städte gesehen werden muß, ist die Befindlichkeit der Menschen in der Stadt und die für sie lebensnotwendige Möglichkeit, Körperwärme an die Umgebung abzuführen. In ihren allgemeinen Bedingungen sind diese Verhältnisse heute weitgehend aufgeklärt. Leider fehlen spezielle Untersuchungen in Städten, was wohl darauf zurückzuführen ist, daß sich die Bioklimatologie ursprünglich als Heilstättenklimatologie entwickelt hat und auch heute noch hier ihren Schwerpunkt besitzt. Zu den allgemeinen Einsichten gehört u.a., daß man den thermischen Wirkungskomplex als Ganzen betrachten, also neben den Lufttemperaturen auch Luftfeuchtigkeit, Wind und Strahlung berücksichtigen muß.

Es scheint als ob gerade der letzteren, und zwar vorwiegend der Wärmestrahlung, innerhalb dicht bebauter Stadtteile eine besonders große Bedeutung als Schwülefaktor zukommt; doch läßt sich noch keine Aussage darüber treffen, wie in dieser Hinsicht die unterschiedlichen Siedlungsformen zu bewerten sind. Die im Stadtinneren meist geringfügig erniedrigte absolute wie relative Luftfeuchtigkeit müßte hier die Entwärmung des Körpers sogar erleichtern. Es ist ganz offensichtlich, daß sich dieser Faktor gegen die anderen nicht durchzusetzen vermag. Weit stärker dürften in dieser Hinsicht die Windverhältnisse differenzierend wirken, besonders bei niedrigeren Werten der relativen Feuchtigkeit. Aber auch hier fehlen noch spezielle Untersuchungen.

Sind Ausdehnung und Form einer Stadt vorgegeben, so verspricht die größte Wirkung auf die Herabsetzung lästiger Stadtwärme, nach den Feststellungen des vorangegangenen Abschnittes, die Ausnutzung der Verdunstungskälte des Wassers. Freiflächen mit Vegetation stellen infolge ihre Transpirationstätigkeit während der warmen Jahreszeit stets Kühlflächen im Stadtgelände dar. Auf Grund des in ihnen stark behinderten Wärmenachschubs aus dem Boden behalten sie aber auch dann noch diese Eigenschaft bei, wenn im Verlauf fortschreitender Abkühlung der Taupunkt erreicht, die Transpiration somit unterbunden wird. Es muß aber nochmals nachdrücklich darauf hingewiesen werden, daß die Reichweite derartiger Wirkungen gering ist; dies ganz besonders dann, wenn Abkühlung am dringendsten erforderlich wäre, nämlich bei advektionsschwachen Strahlungslagen (siehe Karte 5 sowie Abb. 36). Es soll mit dieser Feststellung etwas an dem Dogma gerüttelt werden, wenige große Grünanlagen seien klimahygienisch sinnvoller als viele kleiner. Dieses läßt sich, jedenfalls für die thermischen Verhältnisse, keinesfalls bestätigen, wenngleich die Unterlagen noch nicht ausreichen, um schon ein thermoklimatisches Optimum der Freiflächenverteilung festlegen zu können. Jedenfalls bedeutet eine größere Zahl kleinerer Grünanlagen mehr Berührungsfläche zwischen

Vegetation und Bebauung. Daß gerade kleinere Grünflächen gegen kraftverkehrsreiche Straßen abgeschirmt sein müssen, ist leider keine überflüssige Anmerkung, wie der Augenschein immer wieder beweist. Die Entwertung vieler solcher Grünflächen durch Verkehrslärm und Abgase kann nicht als Argument gegen die Anlage kleinflächigen Grüns gelten - jedoch als Argument gegen Gedankenlosigkeit in der Freiflächenplanung (falls hiergegen Argumente etwas auszurichten vermögen). Keinesfalls kann man sich hier auf die schalldämmende und staubfilternde Wirkung der Vegetation selbst berufen, die u.a. BECK (1967) und NEUBERGER et. al. (1967) untersucht haben. Selbst bei mittelgroßen Grünanlagen wäre hierbei die Randzone minderen Erholungswertes noch flächenmäßig größer als der durch sie geschützte innere Bereich. Sinnvoll unter flächenökonomischem wie unter hygienischem Aspekt erscheint die Anlage kleinerer Grünflächen im Schutz der Randbebauung verkehrsreicher Straßen und mit diesen durch Fußgängerzugänge verbunden.

Die Möglichkeiten, selbst mit einer großen Zahl gut verteilter kleinerer Grünanlagen klimahygienische Wirkungen zu erzielen, sind, bezogen auf das gesamte Siedlungsareal, recht begrenzt. Innerhalb größerer Flächen mit dichter Bebauung ist als wirtschaftlichster und zudem in seiner Eigenschaft als Schattenspender interessanter Kühleproduzent der *S t r a ß e n b a u m* anzusehen. Da sich seine Krone, anders als bei Bäumen des geschlossenen Waldbestandes, relativ frei in den Luftraum erstreckt, kann seine Verdunstungsleistung die von Wald, ja selbst von nassen Wiesen gleicher Grundfläche erreichen und wohl sogar übertreffen. Freilich vermag kein Baum mehr zu transpirieren, als ihm Wasser im Boden zur Verfügung steht. So wird, besonders bei neu anzulegenden Baumpflanzungen, die gleichzeitige Installation eines Bewässerungssystems in Erwägung zu ziehen sein. Über Probleme des Straßenbaumes in der Stadt informieren u.a. HOFFMANN (1954), KÜHN (1961), RUGE (1968) und DUHME (1969).

Eine zusätzliche Milderung des städtischen Temperaturklimas könnte die Anlage vegetationsreicher Dachgärten bewirken. Solche sind heute, wie ein Blick in ein beliebiges Gartenjournal lehrt, technisch möglich. In Frage käme dieses Mittel vor allem in Neubaugebieten. Soll es in größerem Umfang angewendet werden, so müssen die zuweilen begrenzenden Gegebenheiten der städtischen Wasserversorgung berücksichtigt werden. Der Vorteil gegenüber Straßenbepflanzung besteht außer in der unmittelbaren Nutzbarkeit für wohnungsnahe Erholung in der im Dächerniveau weit weniger behinderten nächtlichen Ausstrahlung. Die Luft kann sich somit über der schlecht wärmeleitenden Vegetation vergleichsweise rascher abkühlen. Bei relativer Windruhe sinkt diese Luft sodann in den Straßenraum herab, wo sie die dort lagernde stickig-heiße Luft ersetzt.

Bedeutung für die thermischen Verhältnisse besitzt auch die Bebauungsstruktur eines Stadtgeländes. Wiewohl diese in vorliegender Arbeit nur sehr grob thermisch differenziert werden konnte, lassen sich doch weitergehende allgemeine Einsichten aus einer Modellvorstellung ableiten. Abb. 39 zeigt im Schema drei unterschiedliche Relationen von Gebäudehöhe und Gebäudeabstand bei gleichem eingeschlossenem Volumen. Die drei Quader stellen von Gebäuden umschlossenen Luftraum dar. Die Tiefe der Quader (in die Zeichenebene hinein) wurde gleich gewählt. Es kann damit z.B. ein bestimmter Abschnitt einer Straße gemeint sein. Der Gebäudeabstand ist nur durch die Rechts-Links-Erstreckung, bezogen auf die Zeichenebene, repräsentiert. Streng genommen müßte das Modell natürlich differenziert werden, je nachdem die Vorder- und Hinterfläche des Abschnittes offen (Straße) oder durch Gebäude abgeschlossen gedacht sind. Für die Ableitung des Grundsätzlichen kann man diesen Unterschied jedoch vernachlässigen. Wichtig ist u.a. die pro Volumen vereinnahmte Strahlung. Im Schema entspricht ihr die Deckfläche des jeweiligen Quaders. Bezogen auf das relative Strahlungseinkommen von a (Kennwort: 'Gasse') erhält b ('Nebenstra-

Straßenabschnitte mit unterschied-
lichem Verhältnis Höhe/Abstand der
Randbebauung

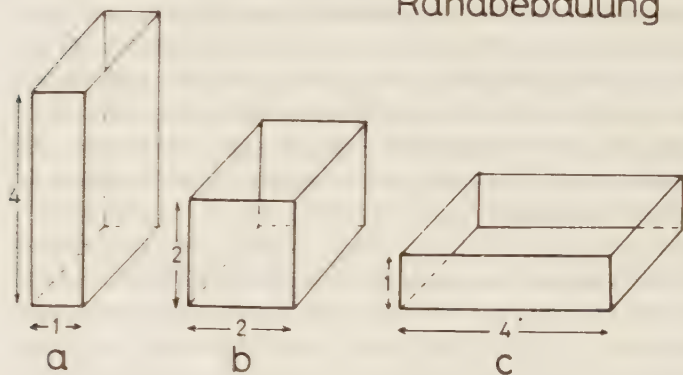


Abb. 39

Be') den doppelten, c ('Vorstadtstraße') sogar den vierfachen Betrag an Strahlungsenergie pro eingeschlossenem Volumen. Der Nettobetrag zeigt insofern etwas geringere Unterschiede, als in engeren Strukturen die einfallende Strahlung durchschnittlich häufiger reflektiert wird (s. vorig. Abschnitt), was einem höheren Ausnutzungsgrad der einkommenden Energie entspricht. Die volumenbezogene Strahlungsbilanz bleibt dennoch für c am höchsten und weist den geringsten Betrag im Falle a auf.

Zu der die Temperatur bestimmenden energetischen Gesamtbilanz muß aber vor allem noch der Austausch der von den Gebäuden umschlossenen Luft berücksichtigt werden. In der Gasse wird der Austausch weitgehend unterbunden, so daß hier tatsächlich die im Durchschnitt niedrigste Temperatur anzutreffen sein dürfte. Bestätigt wird diese Einschätzung durch Arbeiten von DIRMHIRN/SAUBERER (1959) und von MAHRINGER (1963) in Wien. Die höchsten Temperaturen werden wahrscheinlich nicht im Falle c erzielt, da dort der Austausch nur sehr wenig behindert ist und eine stärkere Überhitzung sich daher nicht einstellen kann. Der maximale Temperatureffekt muß daher bei irgend einem Seitenverhältnis zu verzeichnen sein, das zwischen a und c liegt. Von den drei abgebildeten Gegebenheiten dürfte b die wärmsten Verhältnisse aufweisen.

Diese Betrachtung legt u.a. nahe, daß eine abwechslungsreiche Bauweise auch in unseren Breiten auf das Element der Gasse nicht gänzlich zu verzichten braucht, wobei hinzukommt, daß deren thermischer Effekt sich im Winter infolge der Gebäudeheizung umkehrt. Im Sommer ist freilich die hier besonders starke zeitliche Verschiebung der Tagesextreme zu bedenken. Wo aber die Sonnenstrahlung nur für kurze Zeit des Tages bis zum Straßenniveau gelangt, werden lästige Temperaturgrade meist garnicht erst erreicht, wie man selbst in südeuropäischen Städten erfahren kann. Daß Gassen schon wegen ihres Lichtmangels nur vereinzelt, als stadtklimatischer und evtl. architektonischer Kontrast, sinnvoll sein können und daß sie nur für

reinen Fußgänger- oder evtl. Fahrradverkehr in Frage kommen, versteht sich am Rande. Ähnliche thermoklimatische Wirkungen, bei weniger ungünstigen Lichtverhältnissen, lassen sich durch überdachte Galerien erzielen, welche zugleich wertvolle architektonische Elemente darstellen können. Ebenso bewirken Passagen eine Milderung der stadtklimatischen Extreme.

Bei vorgegebenem gleichem Verhältnis Gebäudehöhe/Gebäudeabstand hat die Bebauungshöhe insofern thermoklimatische Konsequenzen, als, unter gleichen Advektionsbedingungen, bei weitständiger, hoher Bebauung das Auswechseln des eingeschlossenen Luftvolumens längere Zeit beansprucht als bei enger, niedriger Bebauung. Daher wird im ersteren Falle mit relativ stärkerer Ausprägung des städtischen Wärmeeffektes zu rechnen sein, und zwar in Abhängigkeit von den gebietstypischen Windverhältnissen. Es ist also die vielfach vertretene Annahme nicht berechtigt, eine weitständige, dafür hohe Bebauung würde ein milderes Temperaturklima zur Folge haben. Man sollte dieses Ergebnis im Zusammenhang auch mit Fragen der optimalen Flächennutzung sehen. Entgegen einem verbreiteten Vorurteil kann, geht man von konstanten Besonnungsnormen aus, die bauliche Ausnutzung des verfügbaren Geländes durch eine mehr als 8-geschossige Bebauung kaum noch wesentlich gesteigert werden.

Abschließend seien kurz die städtischen Grundrißformen und ihre thermoklimatischen Folgen betrachtet. Bei kleineren und wenig industrialisierten Städten bedeutet eine kompakte Form keinen wesentlichen klimatischen Nachteil. Jedoch konnte in dieser Arbeit gezeigt werden, daß die Intensität der städtischen Wärmeinsel in Beziehung zur jeweiligen Entfernung von ausgedehnten, kühlenden Vegetationsflächen steht. Andererseits ließen sich während sommerlicher Hochdruckwetterlagen tiefer in das städtische Häusermeer hineinreichende Wirkungen auf die Temperaturen kaum feststellen. Sie fehlen also gerade dann, wenn sie

besonders erwünscht und klimahygienisch bedeutsam sind. Das thermoklimatische Argument kann somit Forderungen nach einer Gliederung des Bebauungsareals nur sehr begrenzt stützen. Für eine endgültige Einschätzung ist es aber noch zu früh. Wenigstens müßten zuvor die Temperaturverhältnisse bei Tage in Abhängigkeit von Bauungsweise und Abstand von Grünflächen untersucht werden. Auch der lufthygienische Aspekt verdient in diesem Zusammenhang wiederum Beachtung.

Die Umrißform Berlins ist, wie bei der Besprechung von Karte 1 festgestellt, durch mehr oder weniger radial zur Peripherie hin verlaufende Verdichtungsbänder mit dazwischen eingreifenden siedlungsfreien oder -armen Flächen gekennzeichnet. Diesen Freilandbuchten kommt in Westberlin die Funktion von Wochenend-Naherholungsgebieten zu, da ein entsprechend nutzbares Hinterland fehlt. Hier tritt die Bedeutung der Freiflächen als Frischluftreservoir für das bebaute Gebiet stark zurück. Zum eigentlichen planerischen Kriterium wird, neben anderen Erholungsfunktionen, ihr klimahygienischer Wert am Ort, d.h. für die hier Erholung Suchenden. Die empfindliche Baulandknappheit in Westberlin (Vorgeschmack auf das, was bald allgemein der Fall sein dürfte) hat in letzter Zeit zu weitgehender baulicher Nutzung auch der Freilandbuchten geführt. Die Senatsplanung für den Bau einer Stadtautobahn ("Osttangente") mitten durch das letzte größere zusammenhängende Kleingartengelände der Stadt, und insbesondere ihres südlichen Bereichs, stellt eine nicht unwesentliche Verstärkung dieser bedenklichen Tendenz dar. Es handelt sich hier um so weniger um eine gute Entscheidung, als die Größe der zusammenhängenden Erholungsfläche eine wichtige psycho-hygienische Rolle spielt (Auslauf!) und daher gerade in einer derart eingeengten Stadt als Erholungsfaktor berücksichtigt werden muß. Es muß hierzu auch auf die Lärmentwicklung im Bereich moderner Schellstraßen hingewiesen werden, durch die beiderseits der Trasse das Gelände in einer Breite von mehreren hundert Metern in seinem Erholungswert empfindlich beein-

trächtigt wird. Der in diesem Zusammenhang zuweilen zu hörende Hinweis auf ausgedehnte Freiflächen im Westteil des Stadtgebietes kann nicht befriedigen, da die rasche und bequeme Erreichbarkeit von Freiflächen deren Naherholungswert stark mitbestimmt. Für Bewohner Neuköllns grenzt der Verweis auf den Grunewald und die Havelseen unter den gegenwärtigen Verkehrsverhältnissen fast schon an Zynismus.

Zu recht macht KRATZER in seiner Monographie auf die lufthygienischen Vorteile der Bandstruktur von Städten aufmerksam, wobei er die sowjetischen Städte Wolgograd und Magnitogorsk als Beispiele anführt. (Das heute zu beobachtende Zusammenwachsen von Städten zu Städtebändern (HOFMEISTER 1969) geschieht innerhalb einer ganz anderen Größenordnung und darf keinesfalls als ein Vorzug in diesem Sinne gelten.) Auch für das Temperaturklima erscheint die Bandstruktur äußerst vorteilhaft, insbesondere dann, wenn die Längsachse der Stadt quer zur häufigsten Windrichtung bei Inversions- und Schwachwindwetterlagen orientiert ist. Neben dem klimahygienischen Aspekt verdient die leichte Erreichbarkeit der freien Umgebung als wesentliches Kriterium herausgestellt zu werden. Für den Erholungswert des Umlandes wie auch für die Erhaltungsmöglichkeit dort vorhandener protektiv wirksamer Landschaftsteile fällt dabei ganz besonders ins Gewicht, daß das Aufsuchen der betr. Flächen auch ohne Kraftfahrzeug leicht möglich, ihre landschaftszerstörerische "Erschließung" für den Individualverkehr somit weitgehend vermeidbar ist.

9. Zusammenfassung

Bei der Anwendung des klimatologischen Begriffsinventars auf standortkundliche Fragestellungen haben mißverständliche Festlegungen zu widersprüchlichen oder inhaltsleeren Aussagen geführt. Angaben zur Raumdimension bei derartigen Untersuchungen können sinnvoll nur solche der erzielbaren bzw. angestrebten räumlichen Differenzierung sein. Genetische und effektive Betrachtungsweisen desselben Klimas sind begrifflich auseinanderzuhalten. Eine Gliederung des örtlichen Klimas unter genetischem Aspekt wird vorgeschlagen.

Die phänologische Aufnahme der Blühphasen von *Tilia x eu-chlora* KOCH erbrachte eine beachtliche Differenzierung im Untersuchungsgebiet (Darstellung in Kartenform). Methodisch wichtig bei heterochronem Aufnahmeverfahren ist die Berücksichtigung der Witterung während der zu beobachtenden Entwicklungsphase. Auf die unabhängig vom Witterungsgeschehen gegebene charakteristische zeitliche Aufblühfolge wird hingewiesen. Ihr liegt eine Normalverteilung der Blühknospenentwicklung in der Zeit zugrunde. Die Zeitspanne zwischen frühestem und spätestem Datum des Blühbeginns in einem Jahr betrug im Untersuchungsgebiet etwa zwei Wochen. Um etwa 10 Tage verfrüht sich das Aufblühen der innerstädtischen Bäume gegenüber einem makroklimatisch repräsentativen Freilandstandort. Im Wald und in Waldrandlagen wird generell ein gegenüber Freiland um ein bis zwei Tage verspäteter Phaseneintritt angetroffen. Noch größere Verspätungen (zwei bis vier Tage) zeigen diese Lagen im Bereich orographisch bedingter nächtlicher Kaltluftansammlungen. Die Uferzonen der größeren Seen sind durch etwa um einen Tag frühere Blühdaten, bezogen auf Freiland, gekennzeichnet.

Innerhalb des engeren Siedlungsgebietes wächst der Betrag der Blühverfrühung mit der Bebauungsdichte. Die stärksten Datengradienten finden sich in den Grenzbereichen zwischen unterschiedlichen Stadtgeländetypen. In abgeschwächter In-

tensität reichen phänologisch bedeutsame Wechselwirkungen jedoch über diese Grenzbereiche hinaus, so daß die horizontale Ausdehnung von Flächen einheitlicher Bebauung bzw. einheitlichen Bewuchses die in deren Innerem anzutreffenden phänologischen Daten mitbestimmt.

Charakteristische Unterschiede ergab der Vergleich der Verteilung phänologischer Daten im Gebiet mit der Verteilung der Temperaturen in windschwachen Strahlungsnächten. Der während^{der} letzteren relativ geringe Luftaustausch zwischen Flächen unterschiedlichen Stadtgeländetyps läßt deren Eigenklima zur Entfaltung kommen und führt dort, wo differierende Typen aneinandergrenzen, zu beträchtlichen Temperaturgradienten. Die nicht oder locker besiedelten Randgebiete erfahren in sommerlichen Strahlungsnächten die bei weitem stärkste thermische Differenzierung, wohingegen das bebaute Stadtgelände relativ einheitliche Verhältnisse aufweist.

Die beste Übereinstimmung zwischen den Verteilungen phänologischer und thermischer Daten ergab sich beim Vergleich mit Durchschnittstemperaturen. Dabei fanden zum einen sogenannte exponentielle Temperaturmittel (Rohrzucker-Inversionsmethode nach PALLMANN et al.), zum anderen Daten Westberliner Klimastationen Verwendung. Während im ersten Falle wenig Informationen gewonnen werden konnten, die über die bloße Feststellung der Ähnlichkeit der beiden Verteilungen hinausgehen, erwies sich der Zusammenhang zwischen den Klimadaten und der Lage der betr. Stationen im Verteilungsfeld der phänologischen Daten als so eng, daß er die Transformation der Blühdaten in Temperaturdaten rechtfertigte. Damit wurde es möglich, ein relativ grobmaschiges klimatologisches Stationsnetz hinsichtlich der thermischen Aussagen wesentlich zu verdichten. Aus der Verbindung von phänologischer Karte und Klimadaten ließen sich darüber hinaus thermische Richtwerte für charakteristische Stadtgeländetypen in den vier meteorologischen Jahreszeiten ableiten. Dabei gelang die Berücksichtigung der auch qualitativ unter-

schiedlichen Temperaturverteilungsbilder insbesondere der extremen Jahreszeiten vorerst nur unvollkommen, durch relativ grobe Korrekturangaben.

Von Nebenergebnissen der Untersuchungen ist besonders der anomale Temperatur-Jahresgang an den Westberliner Stadtrandstationen hervorzuheben. Dieser wird auf die relative Austauschbehinderung an den betr. Aufstellungsplätzen zurückgeführt. Eine makroklimatisch repräsentative Klimastation fehlt bislang in Westberlin und sollte im Gebiet westlich der Unterhavel eingerichtet werden.

Das höhere Temperaturniveau der Stadt im Vergleich zur ländlichen Umgebung kann im wesentlichen auf zwei Hauptfaktoren zurückgeführt werden. Im Winterhalbjahr fließen der Stadt zusätzliche Energien vor allem aus künstlichen Wärmequellen zu. Im Sommer liefern diese nur knapp ein Drittel der städtischen Zusatzenergien, während als Hauptfaktor hier die geringere aktuelle Verdunstung im Stadtinneren anzusehen ist.

Konsequenzen für die Stadt- und Freiflächenplanung werden im Ansatz erkennbar. Innerstädtische Grünanlagen üben auch bei geringerer flächenmäßiger Ausdehnung wichtige klimahygienische Funktionen aus, wobei sie gegen benachbarte kraftverkehrsreiche Straßen gut abzuschirmen sind. Unter dieser Voraussetzung ist die Anlage vieler kleinerer der weniger großer Freiflächen vorzuziehen. Dies gilt jedoch nicht für den peripheren Stadtbereich, wo die Erhaltung möglichst unzerstückelter großer Grüngelände für die Naherholung zu fordern ist.

Während sich die klimahygienische Wirksamkeit von Grünanlagen im wesentlichen auf deren Randzonen beschränkt, kann im Straßenraum geschlossen bebauter Stadtteile eine Klimaverbesserung vor allem durch Baumbepflanzung erzielt werden. Daneben läßt sich auch durch bauliche Maßnahmen Einfluß auf das städtische Thermoklima nehmen. Auch die städtische Umrißform verdient als bioklimatisch wirksame Gegebenheit Beachtung.

LITERATURVERZEICHNIS

- AICHELE, H.: Über die Verwendung fahrbarer Temperaturschreiber bei geländeklimatischen Untersuchungen. - Angew. Meteor. 5 (1969), 9-11.
- ALISSOW, B.P., DROSDOW, O.A., RUBINSTEIN, E.S.: Lehrbuch der Klimatologie. - Berlin 1956.
- ALTHEIMER, K., HILTNER, L.: Studie über die in Bayern im Jahre 1912 und 1913 bei Schneeglöckchen, Flieder und Winterroggen gemachten phänologischen Beobachtungen. - Landw.Jb.Bayern 5 (1915).
- AULITZKY, H.: Die Bodentemperaturverhältnisse an einer zentralalpinen Hanglage beiderseits der Waldgrenze. - Arch.Met., Geophys.u.Bioklimat., Serie B, 10 (1961); 445-532.
- BACH, W., PATTERSON, W.: Heat Budget Studies in Greater Cincinnati. - Proc.Assoc.Americ.Geogr. 1 (1969); 7-11.
- BAHR, R.-M.: Das Klima von Berlin I: Geschichte der meteorologischen Beobachtungen der Stadt Berlin. - Abh. Met.Dienstes DDR 10 (1966).
- BAUMGARTNER, A.: Zur Phänologie von Laubböhlzern und ihre Anwendung bei lokalklimatologischen Untersuchungen. - Ber.dt.Wetterd.US-Zone 7, 42 (1952); 69-73.
- BAUMGARTNER, A.: Wald als Austauschfaktor in der Grenzschicht Erde/Atmosphäre. - Forstwiss.Cbl. 90, 3 (1971); 174-182.
- BAUR, F.: Witterungsvorhersage für August 1972 für Mitteleuropa und Aussichten für die Münchener Olympiade 26.VIII.bis 10.IX. - Beilage z.Berliner Wetterkarte SO 32/72 (2.8.1972).
- BECK, G.: Pflanzen als Mittel zur Lärmbekämpfung. - Hann., Berlin, Sarstedt (1967).
- BEHRE, O.: Das Klima von Berlin. - Berlin 1908.
- BERÉNYI, D.: Mikroklimatologie der bodennahen Atmosphäre. - Stuttgart 1967.
- BERG, H.: Bedeutung und Grenzen der Phänologie für die Klimatologie. - Ber.dt.Wetterd.US-Zone 7, 42 (1952); 358-361.
- BERNATZKY, A.: Die Beeinflussung des Kleinklimas (Temperatur und relative Luftfeuchte) durch Grünanlagen. - Städtehygiene 1958; 191-194.

- BERNATZKY, A.: Von der mittelalterlichen Stadtbefestigung zu den Wallgrünflächen von heute. - Berlin, Hannover, Sarstedt 1960.
- BERTHET, P.: La mesure écologique de la température par détermination de la vitesse d'inversion du saccharose. - Vegetatio 2, 3 (1960); 197-207.
- BLÜTHGEN, J.: Allgemeine Klimageographie. - Berlin 1964.
- BÖER, W.: Eine häufigkeitsstatistische Methode zur Bearbeitung phänologischer Werte. - Mitt.Thür.Landeswetterwarte 7, 7 (1948).
- BÖER, W.: Zum Begriff des Lokalklimas. - Z.Meteor. 13 (1959); 5-11.
- BÖER, W.: Einige Überlegungen zur raum-zeitlichen Struktur des Geländeklimas und den Möglichkeiten seiner Darstellung. - Angew.Meteor. 5, 1 (1964); 34-36.
- BRANICKI, O.: Das Klima von Potsdam. - Meteor.Abh. 32, 1 u. 2 (1963).
- BÜNNING, E.: Entwicklungs- und Bewegungsphysiologie der Pflanze. - 2.Aufl. Bln, Göttingen, Heidelberg 1953.
- BÜNNING, E.: Jahreszeiten und Pflanzenleben. - Studium Generale 8, 12 (1955).
- BÜTTNER, K.: Der Einfluß des Großstadtdunstes auf Sonnen- und Himmelsstrahlung. - Meteor.Z. 46 (1929); 521-525.
- CHANDLER, T.J.: Wind as a Factor of Urban Temperatures - a Survey in North-East London. - Weather 15 (1960); 204-213.
- CHANDLER, T.J.: Temperature and Humidity Traverses across London. - Weather 17, 7 (1962); 235-242.
- CHANDLER, T.J.: London's Urban Climate. - Geogr.J. 128 (1962 a); 279-298.
- CHANDLER, T.J.: City Growth and Urban Climates. - Weather 19, 6 (1964); 170
- CHANDLER, T.J.: The Climate of London. - London 1965.
- CONFAL, L.: Dynamicko-klimatologické příčiny extrémních teplotních poměrů v Brně. - Spisy přírod.Fak.Univ. Brno, ser.D2, 4 (1960); 209-226.
- DEUTSCHER PLANUNGSATLAS, Bd.9: Atlas von Berlin, hsg. Akad.Raumforsch.Landespl., W.Behrmann. - Hann. 1962.
- DIRMHIRN, I., SAUBERER, F.: Das Straßenklima von Wien. in: STEINHAUSER, ECKEL, SAUBERER: Klima u.Bioklima v.Wien, III. - Wetter.u.Leben 11, Sonderh.VII (1959); 122-135.

- DIRMHIRN, I.: Einiges über die Reflexion der Sonnen- und Himmelsstrahlung an verschiedenen Oberflächen (Albedo). - Wetter u. Leben 5 (1953); 86-94.
- DIRMHIRN, I.: Das Strahlungsfeld im Lebensraum. - Frankfurt/Main 1964.
- DRONIA, H.: Der Stadteinfluß auf den weltweiten Temperaturtrend. - Meteor. Abh. 74, 4 (1967).
- DUCKWORTH, F.S., SANDBERG, J.S.: The Effekt of Cities upon Horizontal and Vertical Temperature Gradient. - Americ. Meteor. Soc. Bull. 35 (1954); 198-207.
- DUHME, F.: Straßenbäume im innerstädtischen Bereich. - Das Gartenamt 18 (1969); 415-419.
- ECKEL, O.: Die Temperaturverteilung in Wien und Umgebung. in: STEINHAUSER, ECKEL, SAUBERER: Klima und Bioklima von Wien. - Wetter u. Leben, Sonderh. V (1957).
- EIMERN, J.v.: Zur Methodik der Geländeklimaaufnahme. - Mitt. dt. Wetterd. Nr. 14 (1955); 125-131.
- EISENHUT, G.: Beiträge zur Kenntnis der Blütenbildung und Fruchtentwicklung in der Gattung Tilia. - Flora 147 (1959); 43-75.
- ELLENBERG, H.: Naturgemäße Anbauplanung, Melioration und Landespflege. Landwirtsch. Pflanzensoz. Bd. 3. - Stuttgart/Ludwigsburg 1954.
- ELLENBERG, H.: Wuchsklimakarte von Südwest-Deutschland 1 : 200 000, nördl. u. südl. Teil. - Stuttg. 1956.
- EMONDS, H.: Das Klima der Stadt Bonn. - Arb. Rhein. Landeskl. H. 7 (1954).
- ERIKSEN, W.: Beiträge zum Stadtklima von Kiel. - Schr. Geogr. Inst. Univ. Kiel 22, 1 (1964).
- ERIKSEN, W.: Das Stadtklima, seine Stellung in der Klimatologie und Beiträge zu einer witterungsklimatischen Betrachtungsweise. - Erdkunde 18 (1964 a); 257-266.
- FISCHER WELTALMANACH 1965 (Hsg.: FOCHLER-HAUCKE). - Frankf./M. 1964
- FLEMMING, G.: Drei Grundauffassungen des Klimas und der Klimatologie. - Z. Meteor. 20 (1968 a); 231-235.
- FLEMMING, G.: Diskussionsbemerkungen zur atmosphärischen Komponente des forstlichen Standorts. - Arch. Forstwesen 17, 10 (1968 b); 1015-1024.
- FLOHN, H.: Witterung und Klima in Mitteleuropa. - 2. Aufl. Stuttgart 1954.

- FRANKEN,E.: Der Beginn der Forsythienblüte in Hamburg. - Meteor.Rdsch. 8 (1955); 113-114.
- FRANKEN,E.: Etwas über Temperatursummen. - Wetterk.See-
wetteramt Hamburg 9, 325 (1961).
- GARNETT,A., BACH,W.: An Estimation of the Ratio of Artificial Heat Generation to Natural Radiation Heat in Sheffield. - Monthly Weather Rev. 93 (1965); 383-385.
- GEB,M.: Klimatologische Übersicht August 1970. - Berliner Wetterk., Beil.135/70, KEU VIII/70 (1970).
- GEIGER,R.: Über selbständige und unselbständige Mikroklimata. - Meteor.Z. 46 (1929); 539-544.
- GEIGER,R.: Das Klima der bodennahen Luftschicht. - 4.Aufl. Braunschweig 1961.
- GEIGER,R. SCHMIDT,W.: Einheitliche Bezeichnungen in klein-klimatischer und mikroklimatischer Forschung. - Bioklim.Beibl.Meteor.Z. 1 (1934); 153-156.
- GRÜNHAGEN,H.: Über einige Beziehungen zwischen Pflanzenleben und Umwelteinflüssen auf Grund phänologischer Untersuchungen. - Neues Arch.Niedersachsen 11 (1963); 142-149.
- GRUNOW,J.: Allgemeine Wetterkunde. - Bln.-Kleinmachnow 1952.
- GÜNTHER,H.: Das Verhalten von Gehölzen unter großstädtischen Bedingungen - untersucht an einigen Gehölzarten in Berlin. Diss.Berlin (Humboldt-Univ.) 1959.
- HACKENTHAL,H.: Die Westberliner Temperatur- und Niederschlagsverhältnisse auf Grund klimatologischer Beobachtungen. - Berliner Wetterk.,Beil.(KWB). Seit 1961.
- HAUSER,Ph.M.: Population Perspectives. - New Brunswick, N.J. 1960.
- HELLMANN,G.: Über die Temperaturen in und außerhalb Berlins. - Jahresber.Berliner Zweigver.Dt.Meteor. Ges. (1894).
- HENDL,M.: Entwurf einer genetischen Klimaklassifikation auf Zirkulationsbasis. - Z.Meteor. 14 (1960).
- HENDL,M.: Grundzüge des Klimas im Havel-Spree-Raum. - Wiss.Abh.Geogr.Ges.DDR 10 (1969); 37-66.
- HETTNER,A.: Die Klimate der Erde. - Geogr.Z. 17 (1911).
- HEYER,E.: Besonderheiten im Klima des Landes Brandenburg. - Wiss.Z.Päd.Hochsch.Potsdam, math-nat. Reihe 2, 1 (1959); 31-36

- HEYER, E.: Das Klima des Landes Brandenburg. - Arch. Meteor. Hydrol. Dienstes DDR Nr. 64 (Bd. 2) (1962).
- HOFFMANN, A.: Der Straßenbaum in der Großstadt, unter besonderer Berücksichtigung der Berliner Verhältnisse. - Diss. Berlin (Humboldt Univ.) 1954.
- HOFFMANN, G., MALKOWSKY, G., HEUSELER, H.: Versuchsflug mit einem Hubschrauber über Westberlin zur Erprobung einer elektrischen Meßeinrichtung für die Untersuchung des sog. Stadteinflusses auf die Temperaturverteilung in der Höhe. - Berliner Wetterkarte, Beilage SO 50/65 (16.12.1965).
- HOFFMANN, K.: Untersuchungen über den Einfluß meteorologischer Faktoren auf den Blühverlauf einiger Apfelsorten. - Angew. Meteor. 4, 5 (1962); 146-154.
- HOFMEISTER, B.: Stadtgeographie. - Das Geogr. Seminar. Braunschweig 1969.
- HOLM, K.F.: Klimatische Untersuchungen im Stadtgebiet Flensburgs. - Diss. Kiel 1949.
- JÄGER, E.: Pflanzengeographische Ozeanitätsgliederung und Ozeanitätsbindung. - Feddes Rep. 79, 3-5 (1968); 157-335.
- KLIMA-ATLAS für das Gebiet der Deutschen Demokratischen Republik. Hsg. Meteor. u. Hydrol. Dienst DDR. Bln. 1953.
- KOEHNE, W.: Grundwasserkunde. - 2. Aufl. Stuttgart 1948.
- KÖPPEN, W.: Wechsel in der phänologischen Zeitfolge. - Meteor. Z. 44 (1927); 174.
- KOCH, H.-G.: Der Waldwind. Eine forstmeteorologische Eigenart von Waldgebieten. - Forstwiss. Cbl. 64 (1942); 97-111.
- KOHL, E.: Das Klima der Stadt Berlin. - Wiss. Abh. Geogr. Ges. DDR 10 (1969); 67-84.
- KRATZER, P.: Das Stadtklima. - Die Wissenschaft 90. - 2. Aufl. Braunschweig 1956.
- KRAUSE, W.: Das Mosaik der Pflanzengesellschaften und seine Bedeutung für die Vegetationskunde. - Planta 41 (1952); 240-289.
- KREEB, K.: Phänologische Untersuchungen auf kleinem Raum. - Meteor. Rdsch. 7 (1954; 1. Teil 95-100, 2. Teil 133-137).
- KREMSE, V.: Vortrag über das Klima von Berlin. - Festschr. 59. Vers. dt. Naturf. u. Ärzte. Berlin 1886.
- KUBIŠNA, W.: Inhalt und Aufgaben der Bodenkunde als Naturwissenschaft. - Mitt. Geogr. Ges. Wien 86 (1943); 305-318.

- KÜHN, R.: Die Straßenbäume. - Hann.Bln.Sarstedt 1961.
- KUNDLER, P.: Zur Anwendung der Invertzuckermethode für standortkundliche Temperaturmessungen. Z.Pflanzenern. 66, 1 (1954); 239-246.
- LANDSBERG, H.E.: The Climate of Towns. in: THOMAS: Man's Role in Changing the Face of the Earth. - Chicago. 1956.
- LAUSCHER, F., ROLLER, M., WACHA, G., GRAMMER, M., WEISS, E., FRENZEL, J.W.: Witterung und Klima von Linz. - Wetter und Leben, Sonderh.VI (1959).
- LOUIS, H.: Die geographische Gliederung von Groß-Berlin. in: Länderkundl.Forschung. Krebs-Festschr. - Stuttgart. 1936.
- LOWRY, W.P.: The Climate of Cities. - Scientific American 217, 2 (1967); 16ff.
- LÜDI, W.: Die Pflanzengesellschaften der Schinigeplatte bei Interlaken und ihre Beziehungen zur Umwelt. - Veröff.Geobot.Inst.Rübel, Zürich 23 (1948).
- LÜTZKE, R.: Über die Problematik von Temperaturmessungen mit der eT-Methode bei lokalklimatologischen Untersuchungen. - Arch.Forstwes. 12, 10 (1963); 1053-1065.
- MÄDE, A.: Ein Beitrag zum Mikroklima eines Obstbaumes. - Die Gartenbauwiss. 12, (1938); 127 ff.
- MÄDE, A.: Über die Methode der meteorologischen Geländevermessung. - Sitz.Ber.Dt.Akad.Landw. 5, 5 (1956).
- MÄDE, A.: Zur Methodik der meteorologischen Geländeaufnahme. - Angew.Meteor. 5, 1/2 (1969); 1-2.
- MÄDE, A.; Buchbesprechung: Mikroklimatologie (BERÉNYI). - Angew.Meteor. 5, 9-11 (1969 a); 359-360.
- MAHRINGER, W.: Ein Beitrag zum Klima von Höfen im Wiener Stadtbereich. Wetter u.Leben 15, 7/8 (1963); 137-146.
- MEY, A.: Der Stadteinfluß auf den Temperaturgang. - Das Wetter 50 (1933); 293-298.
- MEYNEN, E., SCHMITHÜSEN, J.: Handbuch der naturräumlichen Gliederung Deutschlands. 1.Lieferung. - Remagen 1953.
- MEYNEN, E., SCHMITHÜSEN, J. u.a.: Handbuch der naturräumlichen Gliederung Deutschlands. 7.Lieferung. - Bad Godesberg 1961.
- MÖRIKOFER, W.: Neuere Gesichtspunkte in der Klimatologie. - Verh.Schweiz.Naturforsch.Ges.St.Gallen (1948).

- NEUBERGER, H., HOSLER, C.L., KOCMOND, W.C.: Vegetation as Aerosol Filter. - *Biometeor.* 2, 2 (1967); 693-702.
- NIEMANN, E.: Vegetationsdifferenzierung und Wasserfaktor - Bemerkung zur Koinzidenz im Blickfeld der ökologischen Untersuchungsmethodik. - *Arch.Natursch.u.Landesforsch.* 10, 2/3 (1970); 111-130.
- OLGYAY, V.: Design with Climate. - Princeton N.J. 1963.
- PALLMANN, H., EICHENBERGER, E., HASLER, A.: Eine Methode der Temperaturmessung bei ökologischen oder bodenkundlichen Untersuchungen. - *Ber.Schweiz.Bot.Ges.* 50 (1940); 337-362.
- PARRY, M.: The Urban "Heat-Island". in: TROMP u.WEIHÉ (Ed.): *Biometeorology* 2, 2. - Oxford u. London 1967.
- PERLEWITZ, P.: Über den Einfluß der Stadt Berlin auf deren klimatische Verhältnisse. - *Das Wetter* 6 (1890); 97-109.
- QUITT, E.: Die Erforschung der Temperaturverhältnisse von Brno und Umgebung. - *Wetter u.Leben* 12 (1966); 311.
- RASCHKE, K.: Über die physikalischen Beziehungen zwischen Wärmeübergangszahl, Strahlungsaustausch, Temperatur und Transpiration eines Blattes. - *Planta* 48 (1956); 200-238.
- REMPP, G.: Sur les frontières et les relations entre le macroclimat, le mésoclimat et le microclimat, et entre le climate physique et le bioclimat. - *Météorologie* Nr. 10 (1937).
- RICHTER, B.-L.: Verlauf von Temperatur und Feuchte an einer Reihe von heiteren Tagen des Sommers 1968 in der Innenstadt und in den Außenbezirken West-Berlins. - *Meteor.Abh.* 110, 3 (1969).
- RIECKE, F.: Forstgeschichtlich-vegetationskundliche Untersuchungen im Stadtforst Berlin-Spandau. - *Verh.Bot. Ver.Prov.Brandenburg* 98-100 (1960); 50-112.
- RIEMER, K.H.: Neue Durchschnitts- und Extremwerte von Berlin-Dahlem Teil IV: Mittlere Windverhältnisse. - *Berliner Wetterkarte, Beil.* SO 18/71 (31.3.1971).
- ROSENKRANZ, F.: Das Phänoklima von Wien. - *Wetter u.Leben* 2 (1951); 95.
- RUGE, U.: Die Gefährdung der Straßenbäume in Großstädten. - *Gartenwelt* 68, 13 (1968); 284-286.
- SACHS, L.: Statistische Auswertungsmethoden. - Bln. 1968.
- SCAËTTA, M.H.: Terminologie climatique, bioclimatique et microclimatique. - *La Météorologie* Nr. 11 (1935).

- SCHAEFER, H.: Energie und Umwelt. - Brennstoff-Wärme-Kraft 23 (1971) Nr.8; 383-388.
- SCHERHAG, R.: Die größte Kälteperiode seit 223 Jahren. - Naturwiss.Rdsch. 16, 5 (1963); 169 ff.
- SCHIMMEL, H.J.W.: Leven en laten leven. - 2.Aufl. Amsterdam 1970.
- SCHLAACK, P.: Die Wirkung der bebauten und bewaldeten Gebiete auf das Klima des Stadtgebietes von Berlin. - Allgem.Forstz. 18 (1963); 455 ff.
- SCHLAACK, P.: Mittlere und extreme Niederschlagsverhältnisse in Berlin. - Berliner Wetterk.Beil. SO 2/72 (1972).
- SCHLÜTER, H.: Licht- und Temperaturmessungen an den Vegetationszonen einer Lichtung ("Lochhieb") im Fichtenforst. - Flora, Abt.B 156, 2 (1966); 133-154.
- SCHMIDT, W.: Zum Einfluß großer Städte auf das Klima. - Naturwissenschaft 2 (1917); 494.
- SCHMITZ, W., VOLKERT, E.: Die Messung von Mitteltemperaturen auf reaktionskinetischer Grundlage mit dem Kreispolarimeter und ihre Anwendung in Klimatologie und Bioökologie, speziell in Forst- und Gewässerkunde. - Zeiss-Mitt. 1, 8/9 (1959); 300 ff.
- SCHMITZ, W.: Meßprobleme bei reaktionskinetischen Untersuchungen mit dem Kreispolarimeter, dargestellt am Beispiel der reaktionskinetischen Temperaturmessung. Zeiss-Mitt. 2, 6 (1964).
- SCHNEIDER-CARIUS, K.: Die Grundsicht der Troposphäre. - Leipzig 1953.
- SCHNEIDER-CARIUS, K.: Das Klima, seine Definition und Darstellung; zwei Grundsatzfragen der Klimatologie. Veröff.Geophys.Inst.Univ.Lpz.17, 2 (1961); 143-222.
- SCHNELLE, F.: Pflanzenphänologie. Probleme der Bioklimatologie Bd. 2. - Leipzig 1955.
- SCHÖNE, V.: Geländeklimatologische Untersuchungen im Forschungsraum Huy-Hakel der Deutschen Akademie der Landwirtschaftswissenschaften. - Angew.Meteorol. 2, 5 (1958); 129-135.
- SCHREIBER, K.-F.: Les conditions thermiques du Canton de Vaud. - Beitr.geobot.Landesaufnahme d.Schweiz, Fasc.49, Bern 1968.
- SCHREIBER, K.-F.: Écologie appliquée à l'agriculture dans le Nord Vaudois. - Beitr.geobot.Landesaufnahme der Schweiz, Fasc.50, Bern 1968a.

- SCHREIBER, K.-F.: Standortgemäße Gliederung des Wärmeklimas mit Hilfe der Phänologie. - Die Grüne, Schweiz. Landw.Z. 96 (1968b); 1390-1401.
- SCHRÖDTER, H.: Weitere Untersuchungen über die Anwendung der Temperatursummenregel auf phänologische Phasen. - Angew.Meteorol. 2, 2 (1954); 59-64.
- SCHULZE, A.: Eine Methode zur Erfassung von Jahresgängen mit praktischer Anwendung auf Lufttemperatur und Niederschlagsmenge in Europa. - Peterm.Geogr.Mitt. 100 (1956); 34-39.
- SCHULZE, P.: Die horizontale Temperaturverteilung in Großstädten, insbesondere die West-Berlins in winterlichen Strahlungsnächten. - Meteorol.Abh. 91, 2 (1969).
- SCHWALBE, G.: Bemerkungen zu den Temperaturbeobachtungen in Berlin und Umgebung. - Veröff.Königl.-Preuß.Meteorol.Inst. Ber.Nr.272 (1913) u. 292 (1916).
- SCULTETUS, H.R.: Klimatologie. Das Geogr.Seminar: Praktische Arbeitsweisen. - Braunschweig 1969.
- SEYFERT, F.: Anleitung zur Durchführung phänologischer Beobachtungen. Veröff.Meteorol.Hydrol.Dienstes DDR 5 (1953).
- SEYFERT, F.: Ein Beitrag zur Prognose phänologischer Daten. - Abh.Meteor.Dienstes DDR 10 (80) (1966).
- "SMIC" - Report of the Study of Man's Impact on Climate. - Cambridge/Massachusetts 1971.
- STÄLFELT, M.G.: Allgemeinere Physiologie und Ökologie der Photosynthese - 3. Temperatur. in: Handbuch der Pflanzenphysiologie 5, 2. - Bln., Göttingen, Heidelberg. 1960.
- STEINHAUSER, F.: Neue Untersuchungen der Temperaturverhältnisse von Großstädten, Methoden und Ergebnisse. - Bioklimat.Beibl. 1 (1934) der Meteor.Z.; 105-111.
- SZASZ, G.: Bestimmung der nächtlichen Mikroadvektion durch Ausstrahlungsmessungen in der bodennahen Luftschicht. - Angew.Meteorol. 5, 1/2 (1969); 7-12.
- THRAN, P.: Bindung des Pflanzenwachstums an atmosphärische Gegebenheiten im Frühjahr durch den Fermenthaushalt. - Wetterkarte Seewetteramt Hamburg 10, Nr.138 u. 139 (1962).
- TONNE, F.: Besser bauen mit Besonnungs- und Tageslichtplanung. - Schorndorf bei Stuttgart 1954.
- TREIBICH, A.: Über die Verschiedenheit der Lufttemperaturen im Inneren der Städte und in ihrer freien Umgebung. - Meteor.Z. 44 (1927); 341-347.

- TÜXEN, R.: Die Eichung von Pflanzengesellschaften auf Torfprofiltypen - ein Beitrag zur Koinzidenzmethode in der Pflanzensoziologie. - Angew. Pflanzensoz. 15 (1958); 131-141.
- UNDT, W., ZAWADIL, R., ROLLER, M.: Wetter und Klima im Raum von Wien. in: Naturgeschichte Wiens Bd. 1; 287 ff. - Wien und München 1970.
- VILKNER, H.: Die Nachttemperaturen am Erdboden in einer Stadt. - Z. Meteor. 15, 1-6 (1961).
- WALCH, D.G.: Der Wärmehaushalt der Erdoberfläche. - Berliner Wetterkarte, Beil. SO 10/67 (1967).
- WALTER, H.: Einführung in die Phytologie 3, 1 : Standortlehre. - Ludwigsburg 1949.
- WALTER, H., LIETH, H.: Klimadiagramm-Weltatlas. - Jena 1967.
- WEGER, N., HERBST, W., RUDLOFF, C.F.: Witterung und Phänologie der Blühphase des Birnbaums. - Reichsamt f. Wetterdienst, Wiss. Abh. 6, 1 (1940).
- WILMERS, F.: Kleinklimatische Untersuchungen von Laubwaldrändern bei Hannover. - Ber. Inst. Meteor. Klimat. T.U. Hannover Nr. 1 (1968)
- WINKELS, K.: Rohrzuckerinversion als Funktion von Zeit, Temperatur und Wasserstoffionenkonzentration. - Diplomarbeit, Techn. Univ. Berlin (1963).
- WMO (World Meteorological Organization): Urban Climates. - Proc. Sympos. on Urban Climates and Building Climatology, Brussels, Oct. 1968. - Technical Note No. 108; WMO-No. 254.TP.141. - Genf 1970.

DANKSAGUNG

Bei den umfangreichen Untersuchungen zu vorliegender Dissertation und besonders beim Bemühen um gedankliche Durchdringung und sprachliche Formung fand ich jederzeit Anregung und Kritik bei meinem Mentor, Herrn Professor Dr.H.Sukopp. Viele noch haben durch Rat und Tat, Interesse und Geduld den Fortgang und Abschluß dieser Arbeit ermöglicht. Ihnen allen sei hiermit herzlich gedankt!

Dankbar gedenken möchte ich meines allzu früh verstorbenen Lehrers, Herrn Professor Dr.U.Berger-Landefeldt. Er hat mir diese Arbeit vorgeschlagen und sie in ihren Anfängen betreut. Viele hierin weiterverfolgten Gedanken sind von ihm angeregt worden.

LEBENS LAUF

Am 6. Januar 1933 wurde ich in Oranienburg bei Berlin als Sohn des Technischen Angestellten Kurt Zacharias und seiner Ehefrau Melitta, geb. Richter geboren. Zwischen 1939 und 1943 besuchte ich die Volksschule in Oranienburg-Eden, anschließend die Oberschule (Runge-Schule) in Oranienburg, an der ich im Juni 1952 das Reifezeugnis erwarb. Eine danach begonnene Gärtnerlehre brach ich im Januar 1953 ab. Anschließend, bis Juli 1953, war ich bei der Deutschen Reichsbahn (Bahnhof Oranienburg) als Güterbodenarbeiter tätig, ferner vom Juli bis September 1953 als Saisonarbeiter in der Obstverwertung Oranienburg-Eden. Im Oktober 1953 wurde ich vom Meteorologischen und Hydrologischen Dienst der DDR (Zentralinstitut für Angewandte Meteorologie, Halle/Saale) zur Ausbildung als Techniker eingestellt und erwarb im August 1956 das betr. Facharbeiterzeugnis. Anschließend, bis Oktober 1957, hatte ich die technische Leitung eines klimatologischen Sondernetzes im Harz. Mit dem Wintersemester 1957/58 nahm ich das Biologiestudium an der Freien Universität Berlin auf und legte im Mai 1962 die Diplom-Vorprüfung ab. Vom Sommersemester 1963 bis zum Sommersemester 1972 war ich an der Landbaufakultät (zuletzt Fachbereich 14) der Technischen Universität Berlin immatrikuliert, wo ich im Frühjahr 1963 von Herrn Prof.Dr.U.Berger-Landefeldt, dem damaligen Direktor des Instituts für Angewandte Botanik, das Thema zur hier vorgelegten Dissertation erhalten hatte.



geschlossene Bauweise



Zeilen- und Randbebauung



offene Bauweise



Dorfkern



Industrie- und öffentliche
Versorgungsbetriebe

